



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH**

**Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa**

Trabajo final de grado GRETl

Estudio de los dispositivos y sistemas que permiten el control y reducción de la contaminación en el sector del transporte por carretera

Convocatoria: 13 junio 2016

Autor: Arnau Tarragó Fontaneda

Director: Jose Antonio Ortiz



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa

Estudio de los dispositivos y sistemas que permiten el control y
reducción de la contaminación en el sector del transporte por carretera

SUMARIO

LISTA DE IMÁGENES	I
LISTA DE GRÁFICOS	II
LISTA DE TABLAS	III
ABREVIATURAS	1
AGRADECIMIENTOS	3
1. Introducción	4
1.1 Propósito del documento	4
1.2 Objeto del proyecto.....	4
1.3 Justificación del proyecto.....	4
1.4 Alcance.....	5
1.5 Especificaciones básicas.....	6
2. Contexto histórico	7
3. Contaminación atmosférica.....	9
3.1 Calidad del aire.....	10
3.1.1 Calidad del aire mundial	11
3.1.2 Calidad del aire europea.....	12
3.1.3 Calidad del aire española	15
3.2 Causas de la contaminación atmosférica.....	19
3.3 Contaminantes atmosféricos	19
3.3.1 Partículas	20
3.3.2 Gases	21
3.4 Medidores de la contaminación atmosférica	23
3.4.1 Medidor/contador de partículas.....	23
3.4.2 Medidor de gases	24

3.4.3	Estaciones	25
3.4.4	Aplicaciones y páginas web	26
3.4.5	Bioindicadores	27
3.5	Consecuencias	29
3.5.1	Medio ambiente	29
3.5.2	Lluvia ácida	29
3.5.3	Salud humana	31
3.6	Contaminación por sectores	33
4.	Tipos de transporte y contaminación que generan	34
4.1	Definición y factores condicionantes	34
4.2	Tipos de transportes	35
4.2.1	Transporte terrestre	35
4.2.2	Transporte aéreo	37
4.2.3	Transporte acuático	38
4.3	Contaminación en el transporte	39
4.3.1	Gases CO y VOC	39
4.3.2	Gases NO _x y partículas PM ₁₀	40
4.3.3	Gases SO _x	42
5.	Normativa y legislación de emisiones por contaminación	44
5.1	Normativa vigente	44
5.1.1	Europea	44
5.1.2	Española	51
5.1.3	Autonómica	53
5.2	Estrategias e iniciativas	54
5.2.1	20/20/20	54
5.2.2	SCALE	56
5.2.3	NEHAPs	57
6.	Dispositivos y sistemas de los vehículos de carretera	58
6.1	Coches y motos	58

6.1.1	Catalizador	58
6.1.2	Sistema EGR.....	60
6.1.3	Sensor de urea	62
6.1.4	AdBlue.....	63
6.1.5	Sensor de oxígeno	64
6.1.6	Canister	65
6.1.7	O ₃ Protégelo	66
6.1.8	Start-Stop.....	66
6.1.9	Filtro de partículas	66
6.1.10	Embrague por cable	68
6.1.11	Sistema de inyección adicional de aire en el escape	68
6.1.12	Sistema de ventilación positiva del cárter (PCV).....	69
6.1.13	Baterías de plomo-carbono.....	70
6.2	Autobuses y autocares	70
6.2.1	Purificador de aire eCo3	70
6.2.2	Transmisiones automáticas	71
6.3	Camiones	71
6.3.1	SDR.....	71
6.4	Trenes	72
6.4.1	ENSPIRIT	72
7.	Modos de propulsión alternativos en vehículos.....	73
7.1	Vehículo eléctrico	73
7.1.1	Coche eléctrico.....	73
7.1.2	Proyectos VICTORIA y TOSA.....	75
7.2	Vehículo híbrido.....	75
7.3	Vehículo de hidrógeno	76
7.4	Autogas	78
7.5	Gas natural comprimido.....	79
7.6	Etanol	80

7.6.1	Proyecto Ecotruck	81
8.	Futuras tareas.....	83
9.	Presupuesto	84
10.	Estudio medioambiental	85
11.	Planificación	86
12.	Conclusiones.....	87
13.	Bibliografía	89
13.1	Archivos PDF.....	89
13.2	Páginas web.....	89
13.3	Imágenes.....	96
13.4	Tablas.....	97

LISTA DE IMÁGENES

- Imagen 1. Smog fotoquímico en los Ángeles. Fuente [71]
- Imagen 2. Ciclo de la contaminación atmosférica. Fuente [72]
- Imagen 3. Mapa de la contaminación mundial actualizado. Fuente [73]
- Imagen 4. Emisiones de PM₁₀ en 2014. Fuente [10]
- Imagen 5. Emisiones de PM_{2,5} en 2014. Fuente [10]
- Imagen 6. Emisiones de NO₂ en 2014. Fuente [10]
- Imagen 7. Emisiones de O₃ en 2014. Fuente [10]
- Imagen 8. Emisiones de SO₂ en 2014. Fuente [10]
- Imagen 9. Emisiones de benzo(a)pireno en 2014. Fuente [10]
- Imagen 10. CEL-712/K1+. Fuente [13]
- Imagen 11. GasPro. Fuente [14]
- Imagen 12. Estación de calidad del aire. Fuente [74]
- Imagen 13. World Air Quality Index. Fuente [75]
- Imagen 14. Caliope. Fuente propia.
- Imagen 15. Liquen. Fuente [19]
- Imagen 16. Musgo. Fuente [19]
- Imagen 17. Efecto de la lluvia ácida. Fuente [22]
- Imagen 18. Calima en las Islas Canarias. Fuente [76]
- Imagen 19. Emisiones de GHG por sectores en la UE. Fuente [84]
- Imagen 20. Tipos de ejes terrestres según su densidad y organización. Fuente [31]
- Imagen 21. Esquema interno de un catalizador de tres vías. Fuente [48]
- Imagen 22. Esquema de un sistema EGR. Fuente [48]
- Imagen 23. Sensor de urea. Fuente [77]
- Imagen 24. Efecto del AdBlue. Fuente [78]
- Imagen 25. Localización del sensor de oxígeno en el motor. Fuente [48]

Imagen 26. Componentes que intervienen en la retención de los hidrocarburos.

Fuente [48]

Imagen 27. Filtro de partículas. Fuente [47]

Imagen 28. Embrague por cable. Fuente [45]

Imagen 29. Purificador de aire eCo3. Fuente [49]

Imagen 30. Transmisión Allison. Fuente [79]

Imagen 31. Diferencia en el campo de turbulencias sin y con SDR. Fuente [53]

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. % población urbana expuesta a la contaminación atmosférica cuyos límites sobrepasan los establecidos por la UE. Fuente [80]

Gráfico 2. Emisiones de PM y sus gases precursores en la UE. Fuente [80]

Gráfico 3. Emisiones de los gases precursores de O₃ en la UE. Fuente [80]

Gráfico 4. Emisiones del sector del transporte. Fuente [33]

Gráfico 5. Emisiones de NO_x por sectores. Fuente [33]

Gráfico 6. Emisiones de PM₁₀ por sectores. Fuente [33]

Gráfico 7. Emisiones de SO_x por sectores. Fuente [33]

Gráfico 8. Límites de azufre establecidos por la última directiva (EU, 2012).
Fuente [33]

Gráfico 9. Valores límite de emisión para vehículos diésel. Fuente [33]

Gráfico 10. Valores límite de emisión para vehículos de gasolina. Fuente [33]

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición media del aire. Fuente [81]

Tabla 2. Países de Europa VS costes asociados por contaminación y PIB.

Fuente [9]

Tabla 3. Normas sobre el medioambiente en España. Fuente [82]

Tabla 4. Normas sobre la contaminación atmosférica en España. Fuente [82]

Tabla 5. Legislación sectorial sobre la contaminación atmosférica en España.
Fuente [82]

Tabla 6. Legislación sobre el medio ambiente en algunas CA. Fuente [82]

Tabla 7. Legislación sobre contaminación atmosférica en algunas CA. Fuente
[82]

Tabla 8. Condiciones operativas del sistema de inyección por aire. Fuente [48]

Tabla 9. Costes del estudio. Fuente propia

Tabla 10. Resultados obtenidos del estudio medioambiental. Fuente propia

Tabla 11. Planificación del trabajo realizado en este estudio. Fuente propia

ABREVIATURAS

PAN: nitrato de peroxiatecilo

UE: Unión Europea

OMS: Organización Mundial de la Salud

AEMA: Agencia Europea de Medio Ambiente

ONU: Organización de las Naciones Unidas

PIB: Producto Interior Bruto

PM: particulate matter

O₃: ozono troposférico

NO₂: dióxido de nitrógeno

SO₂: dióxido de azufre

HAP: hidrocarburos aromáticos policíclicos

CO: monóxido de carbono

BaP: benzo(a)pireno

H₂O₂: peróxido de hidrógeno

COV: compuestos orgánicos volátiles

C₆H₆: benceno

C₆H₅CH₃: tolueno

CH₄: metano

COVNM: compuestos orgánicos volátiles no metánicos

UV: ultravioleta

S: azufre

Pb: plomo

Fe: hierro

Cu: cobre

Ni: níquel

Cd: cadmio

H₂SO₄: ácido sulfúrico

HNO₃: ácido nítrico

GHG: greenhouse gas

TiO₂: óxido de titanio

MTD: mejores técnicas disponibles

BREF: Best Available Techniques Reference Document

VLE: valores límites de emisión

HC: hidrocarburos

NEHAPs: National Environmental Health Action Plans

PYMES: Pequeñas y Medianas Empresas

EPA: Environmental Protection Agency

SCR: Selective Catalytic Reduction

RPM: Revoluciones Por Minuto

GLP: Gas Licuado del Petróleo

GNC: Gas Natural Comprimido

GNL: Gas Natural Licuado

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer el esfuerzo, la ayuda y el tiempo dedicado a este trabajo por parte de mi director Jose Antonio Ortiz.

Por otro lado, quiero agradecer a mi familia la comprensión y apoyo que me han dedicado a lo largo de este trabajo, tanto en mis momentos buenos como en los malos.

Finalmente, quiero agradecer los momentos compartidos con mis amigos durante el desempeño de este estudio, ya que sin ellos, a veces las cosas se verían de otro color.

1. Introducción

1.1 Propósito del documento

El propósito de este documento es mostrar una primera visión global del proyecto. En otras palabras, es el primer documento orientativo del proyecto en el cual se presentará el trabajo, se argumentará el porqué de esta elección y se asentarán tanto los principales temas de estudio y desarrollo como los que no serán tratados. Asimismo, se detallarán los aspectos que restringen de una manera u otra las fronteras del proyecto. Finalmente, se establecerá un calendario de fechas con el que se deberá cumplir con el fin de llevar a cabo un correcto desarrollo y seguimiento de las tareas comprendidas dentro de éste.

1.2 Objeto del proyecto

El fin de este proyecto consiste en primer lugar en estudiar los diferentes dispositivos y sistemas que permiten el control y reducción de la contaminación atmosférica causada por el sector del transporte por carretera, desde un punto de vista integral (abarcando el conjunto vehículos-personas-entorno). En segundo lugar, se colaborará activamente con la plataforma VPE Seguridad Vial del Departamento de Ingeniería Mecánica. Mediante la elaboración y divulgación de este estudio, así como con la redacción de artículos de interés y concienciación, se dará a conocer a la comunidad automovilística y del sector del transporte por carretera información relevante y de creciente importancia.

1.3 Justificación del proyecto

Durante los últimos años, el tema de la contaminación atmosférica está en boca de todo el mundo. Actualmente, no hay empresa de carácter industrial y especialmente las dedicadas al sector de la automoción y el transporte que no tenga en su punto de mira dicha temática. Es más, no se deja de hablar constantemente de las políticas promovidas por la Unión Europea (las llamadas iniciativas emblemáticas), cuyos fines son principalmente llegar al año 2020 con una Europa que sepa gestionar mejor sus recursos y que sea sensata con las próximas generaciones. A raíz de esto, he decidido enfocar dicha temática en el sector del transporte por carretera, concentrando mis esfuerzos en realizar un estudio exhaustivo de los dispositivos y sistemas vigentes que ayudan a paliar el impacto medioambiental causado por este sector además de proponer innovaciones y alternativas viables.

1.4 Alcance

El trabajo abarca y comprende los siguientes puntos:

- Definición de la situación actual en la que nos encontramos respecto a la contaminación atmosférica, a nivel nacional e internacional.
- Estudio de dicha situación mediante información debidamente seleccionada y contrastada y análisis del impacto medioambiental y su tendencia en estadios futuros haciendo uso de datos estadísticos.
- Estudio de los diversos dispositivos y sistemas integrados en los vehículos del sector del transporte por carretera que permiten controlar y reducir las emisiones.
- Búsqueda de mejoras e iniciativas promovidas por organismos públicos o bien empresas privadas con el fin de tener una idea general de qué y en qué dispositivos se quieren desarrollan innovaciones tecnológicas.
- Propuesta de mejoras y alternativas.
- Redacción de artículos de interés concernientes a la temática fijada en la plataforma VPE Seguridad Vial del Departamento de Ingeniería Mecánica, así como su difusión.

El trabajo no abarca ni comprende los siguientes puntos:

- Diseño y fabricación de cualquier dispositivo en uso o en etapa de desarrollo tecnológico, tanto los estudiados como los posibles propuestos.
- Estudio de las consecuencias a nivel patológico en el ser humano debidas a la exposición a la contaminación atmosférica.

1.5 Especificaciones básicas

El trabajo en cuestión vendrá acotado por los siguientes aspectos:

- Legal: Las normativas referentes a las leyes sobre emisiones cambian constantemente, por la cual cosa toda aquella información aportada en este trabajo debe ser acorde a las normativas vigentes.
- Económico: En lo que respecta a la propuesta de mejoras e innovaciones, toda aportación deberá ser lo más óptima económicamente posible, derivando en una adecuada utilización de los recursos financieros y materiales en el caso de que posteriormente se quisiera fabricar y comercializar.
- Capacidad: Si bien anteriormente hemos hablado de optimizar los recursos económicos, este aspecto se caracteriza por la optimización del espacio. Es decir, cualquier mejora e innovación deberá ser en este caso lo más óptima posible y deberá en todo momento ser acorde con el diseño del vehículo/dispositivo al que vaya incorporado, asegurando así que no haya que modificarse el diseño inicial del propio vehículo/dispositivo.

2. Contexto histórico

A lo largo de la historia del sector del transporte por carretera no se ha tenido en consideración la gravedad que acarrea la emisión de partículas contaminantes a la atmósfera. Sin embargo, debido al auge de la compra de vehículos privados a finales de los años 60, se generó un nuevo tipo de contaminación atmosférica, característica en ambientes con alta presencia de hidrocarburos sin quemar, óxidos de nitrógeno y fuerte incidencia solar. Dicha mezcla genera ozono, un gas irritante y PAN, que forma con los óxidos de nitrógeno una nube rojiza e irritante para los ojos y las vías respiratorias, conocida actualmente como smog fotoquímico. A raíz de este hecho, los acontecimientos dieron un severo giro.



Imagen 1. Smog fotoquímico en los Ángeles. Fuente [71]

En poco tiempo la investigación de nuevas tecnologías para la reducción de las emisiones atmosféricas cobró importancia, pero no fue hasta finales de los años 80 cuando se empezó a utilizar por primera vez componentes electrónicos en los vehículos con el fin de obtener un mayor control sobre el combustible. Sin duda alguna, este desarrollo fue una revolución en el sector automovilístico, ya que puso de manifiesto el poco rendimiento energético que tenían los sistemas de alimentación basados en la inyección mecánica o también conocidos como carburación. La primera gran implementación que se incorporó a los coches de gasolina fue la inyección electrónica en la admisión de combustible, que junto a una centralita calculaba los parámetros necesarios para administrar la cantidad óptima de combustible a la cámara de combustión.

Sobre esas mismas fechas, empezó a coger voz el movimiento diésel. Este combustible era hasta el momento únicamente utilizado en camiones, autobuses y maquinaria pesada. Los motores diésel no tenían mucha potencia en relación a su cilindrada, pero si gozaban de altas cifras de par motor, además de ser

motores muy robustos y duraderos. A todos estos atributos se le añadía su bajo precio, el cual oscilaba sobre la mitad que el de la gasolina además de que su consumo era inferior. Consecuentemente, esto supuso un gran atractivo para los compradores de coches, ávidos por disfrutar de nueva tecnología.

A pesar de las grandes innovaciones tecnológicas que tuvieron lugar en años previos, el punto álgido se alcanzó en el 1992, año en el cual se impuso a todos los fabricantes de vehículos europeos someterse a la normativa Euro 1. Dicha normativa obligaba a reducir las emisiones tanto a vehículos diésel como gasolina. Con el fin de cumplir exitosamente con la normativa, se implementó el catalizador, dispositivo situado en el tramo intermedio del tubo de escape cuya función era reducir y transformar los gases de combustión.

Aunque el uso del catalizador ayudó significativamente a la reducción de las emisiones no era una medida suficiente para eliminar todos los compuestos. A razón de ello, se decidió centrarse en otros aspectos aparte de la mecánica del vehículo; concretamente se optó por abordar el tema del combustible. En referencia a la gasolina, al ser un componente volátil tenía mucha facilidad de detonación en la cámara de combustión, derivando en muchas vibraciones y por consiguiente muchos fallos en el motor. Solucionar este hecho, juntamente con el aumento del índice de octano, eran los dos principales objetivos que se querían lograr. Por lo que respecta al diésel, se deseaba asimismo aumentar el índice de cetano (el equivalente del índice de octano para el diésel) y reducir drásticamente las altas cantidades de azufre que contenía, que tras la combustión generaban óxidos de azufre, responsables de la lluvia ácida.

Actualmente se sigue trabajando intensamente en cómo reducir cada vez más las emisiones atmosféricas, enfocándose su estudio no sólo en la mecánica interna del vehículo y en el sistema de combustible, sino en facetas como son la selección de materiales, el desgaste por fatiga de las ruedas, etc. Una de las razones principales es porque la UE ha intensificado la supervisión sobre las emisiones, implantando nuevas normativas cada vez en menos espacio de tiempo y debido a ello el sector del transporte por carretera dedica mucho empeño para cumplir con ellas. Por otra parte, como toda actividad empresarial, el transporte por carretera tiene repercusiones medioambientales que afectan a la imagen del sector. Un ejemplo de esto sería el camión, al cual se le atribuye una connotación de peligro, contaminación, intrusión visual y ruido; entre otras molestias. Por ello, reconciliar la opinión pública con el transporte pesado constituye hoy en día uno de los grandes retos de este sector.

3. Contaminación atmosférica

Se entiende por contaminación atmosférica a la presencia en la atmosfera de una cierta cantidad de sustancias que implican molestias o riesgos para la salud de los humanos, del resto de seres vivos y de bienes de cualquier naturaleza. Existen dos tipos: de carácter local y de carácter planetario. La primera está delimitada a una determinada zona mientras que la segunda afecta a todo el planeta.

Actualmente la contaminación atmosférica es un problema de alto riesgo tanto para la especie humana como para el mundo animal y vegetal. Se trata de una amenaza a nivel mundial, debido a los graves efectos que genera en el desarrollo de la vida en nuestro planeta.

Según la OMS cada año mueren alrededor de 4.000.000 de personas a consecuencia de enfermedades atribuibles a la contaminación del aire en hogares, cifra que no refleja las muertes debidas a sectores como la industria o la producción de energía, entre otros. Un informe de la propia OMS realizado en marzo de 2014 informaba de que según las estimaciones hechas en 2012 fallecieron cerca de 7.000.000 de personas (es decir 1 de cada 8 muertes) debido a la exposición a la contaminación atmosférica. Análogamente, un informe de la AEMA reveló que es la responsable anualmente de más de 400.000 muertes prematuras^[4] en Europa, derivando en la reducción de aproximadamente 1 año en la esperanza de vida europea.

A pesar de los avances tecnológicos en la reducción de la contaminación atmosférica, este problema sigue haciendo estrago en la vida cotidiana de los seres de este planeta, constituyendo en la actualidad el riesgo ambiental para la salud humana más importante del mundo.

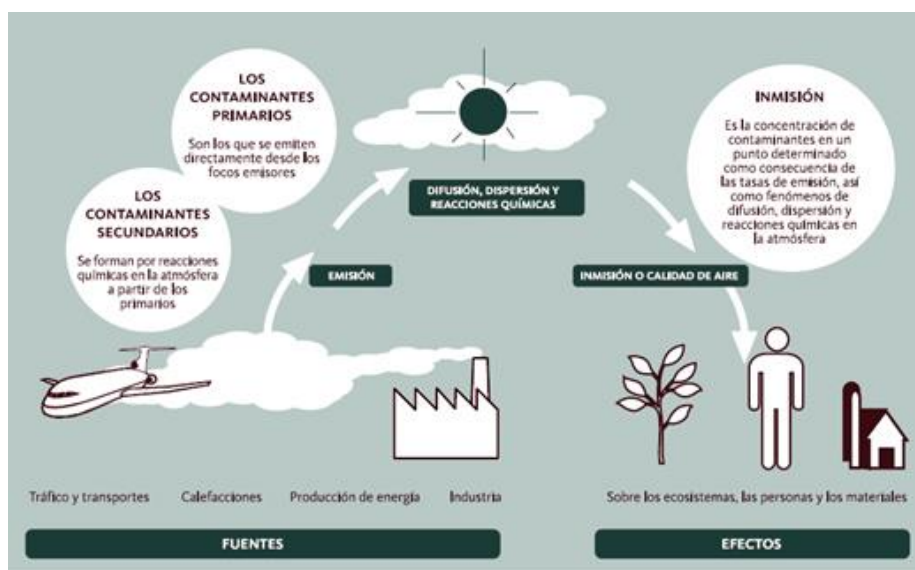


Imagen 2. Ciclo de la contaminación atmosférica. Fuente [72]

3.1 Calidad del aire

El aire se compone principalmente de nitrógeno, oxígeno y gases nobles. Sin embargo, hay presencia de otros elementos que, aunque su proporción respecto al total sea muy pequeña, también lo componen. A continuación se muestra un desglose de dichos elementos que lo componen:

Componente	Concentración (% en volumen)
Nitrógeno (N)	78,03
Oxígeno (O)	20,99
Dióxido de Carbono (CO ₂)	0,03
Argón (Ar)	0,94
Neón (Ne)	0,00123
Helio (He)	0,0004
Criptón (Kr)	0,000006
Xenón (Xe)	0,01
Hidrógeno (H)	0,0002
Metano (CH ₄)	0,00005
Óxido nitroso (N ₂ O)	Variable
Vapor de agua (H ₂ O)	Variable
Ozono (O ₃)	Variable
Partículas	Variable

Tabla 1. Composición media del aire. Fuente [81]

Como se puede observar, tanto el óxido nitroso, el vapor de agua como las partículas tienen una composición variable, dependiendo ésta de la temperatura

y la altitud. Por este motivo, en función de la zona geográfica en la que nos situemos la composición de la atmósfera variará ligeramente.

3.1.1 Calidad del aire mundial

En el panorama mundial, la contaminación del aire ha aumentado de manera abismal en los últimos 25 años^[6], debido a la industrialización y a la urbanización de la mayoría de países. La OMS destaca como culpables las ciudades y grandes metrópolis, ya que ocupan el 2% del territorio mundial y producen el 70% de estos gases. Análogamente, la ONU considera que los principales perjudicados por el cambio climático son los países más pobres y los que están en vías de desarrollo, a causa de su creciente población y por las frecuentes situaciones de inundación, desertificación y sequías que sufren la mayoría de ellos.

Como se ha comentado anteriormente, esto ha degenerado en un riesgo para la salud. De entre todos los contaminantes se ha estimado como mayor amenaza para la salud el ozono troposférico y las partículas finas, causando graves estragos entre los niños, ancianos y asmáticos.

Por lo que respecta a los problemas medioambientales, los que requieren de urgente adopción de medidas son la contaminación del aire urbano, la lluvia ácida (concretamente en Europa, Estados Unidos y recientemente en China), la contaminación por productos químicos tóxicos y el degradamiento de la capa de ozono.



Imagen 3. Mapa de la contaminación mundial actualizado. Fuente [73]

3.1.2 Calidad del aire europea

En el panorama europeo, las emisiones de la mayoría de contaminantes atmosféricos han disminuido considerablemente durante las últimas décadas. No obstante, las concentraciones de contaminantes siguen siendo demasiado elevadas y continúan habiendo problemas de calidad del aire. Según un informe de la AEMA, la mayor parte de la población europea vive en zonas urbanas, cuyos niveles de calidad del aire sobrepasan los límites. Es más, en torno al 90% de la población urbana de la UE está expuesta a concentraciones de contaminantes atmosféricos a niveles suficientemente altos para ser considerados nocivos para la salud. Las partículas finas y en especial el benzo(a)pireno suscitan mucha preocupación debido a su naturaleza cancerígena y cuyas concentraciones superan el límite establecido para proteger la salud humana en varias zonas urbanas; concretamente en Europa Central y Oriental.

La calidad del aire presente en Europa no siempre ha mejorado en consonancia con el descenso general de las emisiones atmosféricas causadas por el hombre, a causa de dos razones importantes. La primera es que no existe siempre una relación lineal entre el descenso de las emisiones y las concentraciones de contaminantes; y la segunda es que hay una creciente contribución de contaminantes transportados a larga distancia provenientes de otros países.

Acorde con los datos aportados por la OMS, el coste económico que Europa hace frente cada año debido a la contaminación atmosférica es de 1,4 billones de euros. Este dato, que incluye una suma de 53 países, está calculado básicamente a partir de la carga que generan las enfermedades y las muertes por contaminación. Actualmente, el precio de la mala calidad del aire equivale aproximadamente a una décima parte del PIB de la UE en el año 2013.

Seguidamente se detalla los países de Europa que más y menos costes asociados tienen a causa de la contaminación:

País	Coste (millones de euros)	% PIB
Georgia	8064	35,2
Serbia	25489	33,5
Bulgaria	28352	29,5
Islandia	85	0,8
Finlandia	1321	0,7
Noruega	763	0,3

Tabla 2. Países de Europa VS costes asociados por contaminación y PIB. Fuente [9]

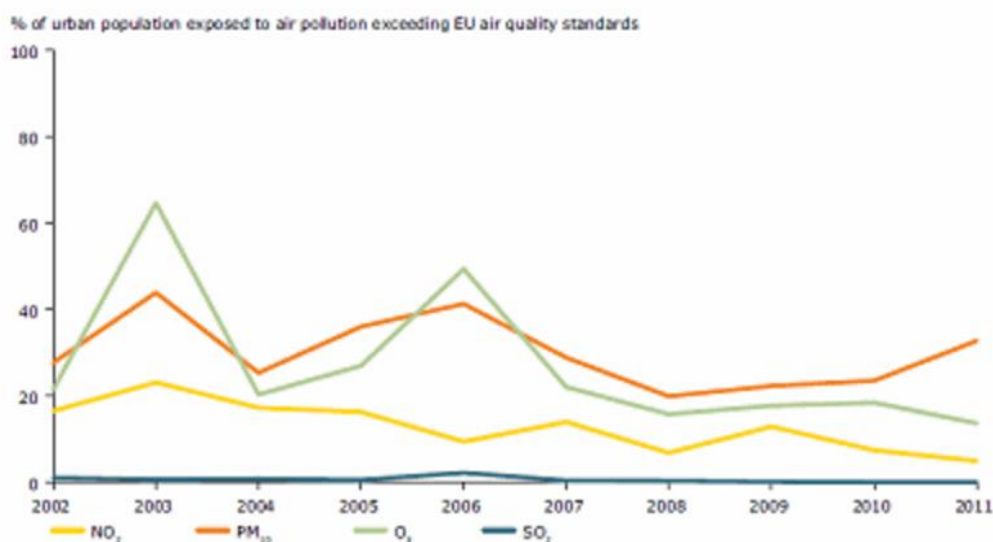


Gráfico 1. % población urbana expuesta a la contaminación atmosférica cuyos límites sobrepasan los establecidos por la UE. Fuente [80]

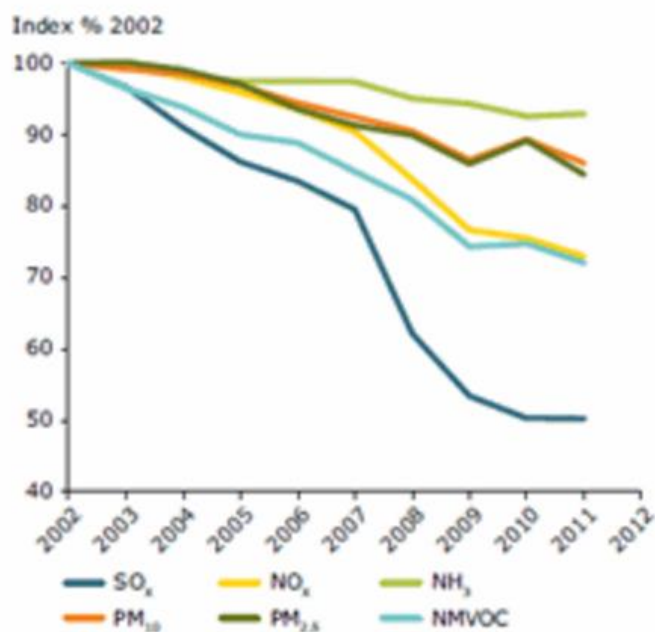


Gráfico 2. Emisiones de PM y sus gases precursores en la UE. Fuente [80]

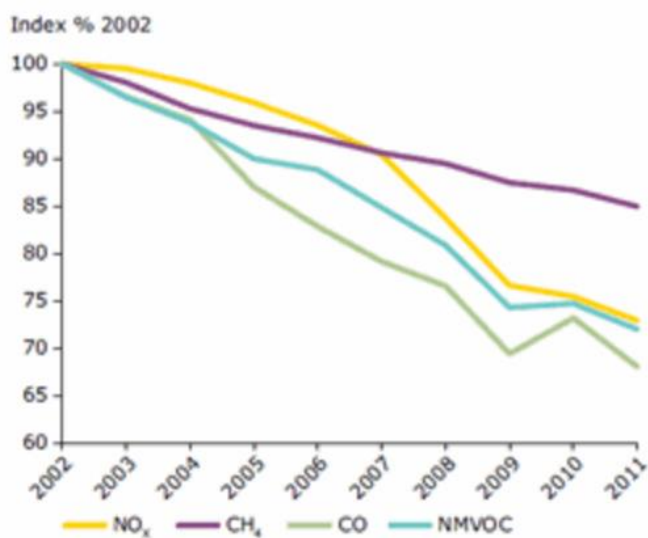


Gráfico 3. Emisiones de los gases precursores de O₃ en la UE. Fuente [80]

3.1.3 Calidad del aire española

De la misma manera que en el panorama mundial y europeo, la contaminación atmosférica en España está muy presente en la vida cotidiana de las personas. Según un informe realizado en 2014 por Ecologistas en Acción^[10], 15,5 millones de personas (el 33,1% de la población) respiran aire contaminado en el territorio español, según los valores límite y objetivo establecidos para los contaminantes principales citados por la Directiva 2008/50/CE y el Real Decreto 102/2011. Analizando las cifras aportadas por la AEMA, cada año se registran cerca de 27.000 muertes prematuras por afecciones derivadas de la contaminación del aire.

En los últimos años, los contaminantes más problemáticos son las partículas en suspensión PM_{10} y $PM_{2,5}$, el NO_2 , el SO_2 y el O_3 . Si bien en dicho estudio se han tenido en cuenta todo estos contaminantes, se ha recopilado y evaluado asimismo la información disponible sobre otros contaminantes regulados legalmente como son el CO, el benceno, los HAP y los metales pesados.

Si se tienen en cuenta los valores recomendados por la OMS, más estrictos que los valores límites legales (y más acordes con una adecuada protección de la salud), la población que respira aire contaminado asciende hasta los 44,7 millones de personas (95,5% de la población).

En lo que concierne a los costes sanitarios derivados de la contaminación atmosférica, éstos representan un 2,8% del PIB español (alrededor de 46.000.000 de euros); no incluyendo éstos los costes económicos relacionados con los daños ocasionados sobre los ecosistemas naturales.

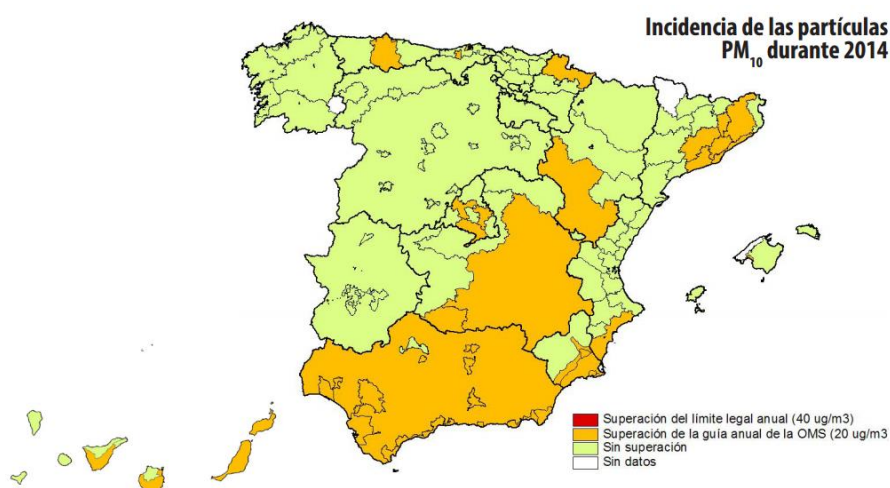


Imagen 4. Emisiones de PM_{10} en 2014. Fuente [10]

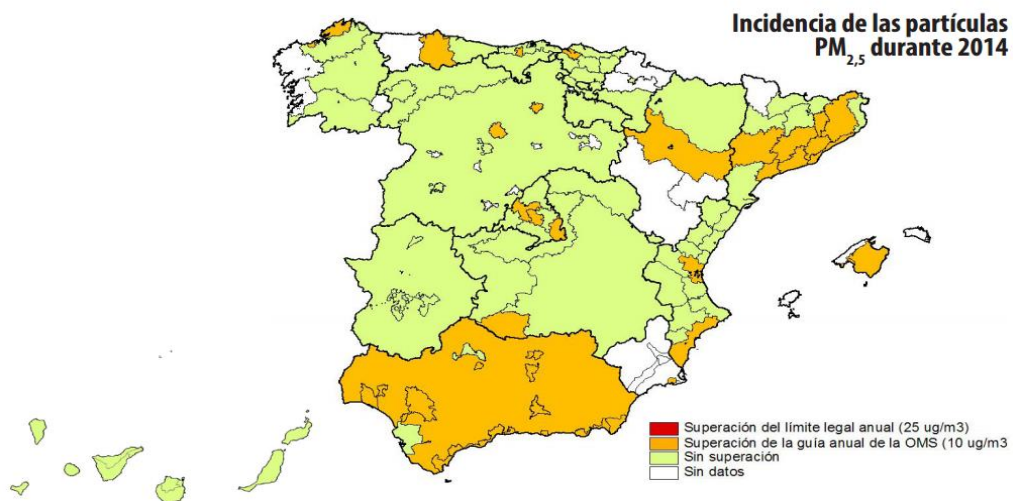


Imagen 5. Emisiones de $PM_{2,5}$ en 2014. Fuente [10]

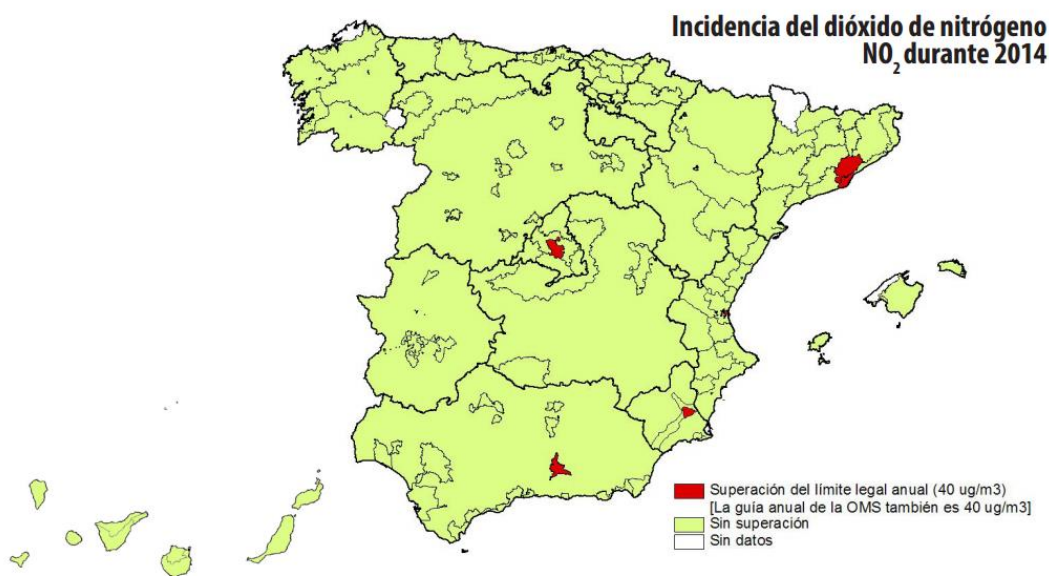


Imagen 6. Emisiones de NO_2 en 2014. Fuente [10]

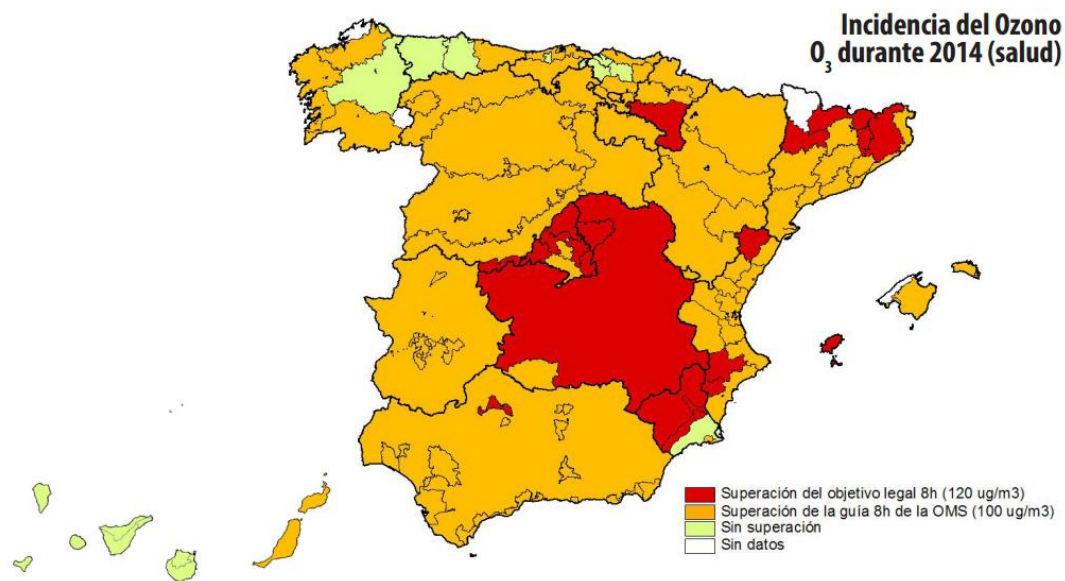


Imagen 7. Emisiones de O_3 en 2014. Fuente [10]

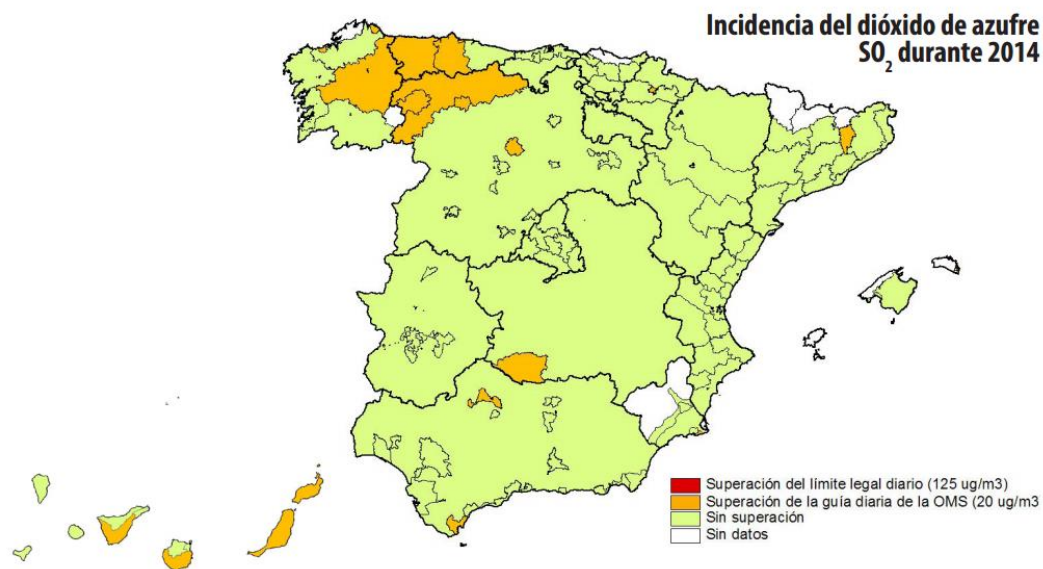


Imagen 8. Emisiones de SO_2 en 2014. Fuente [10]

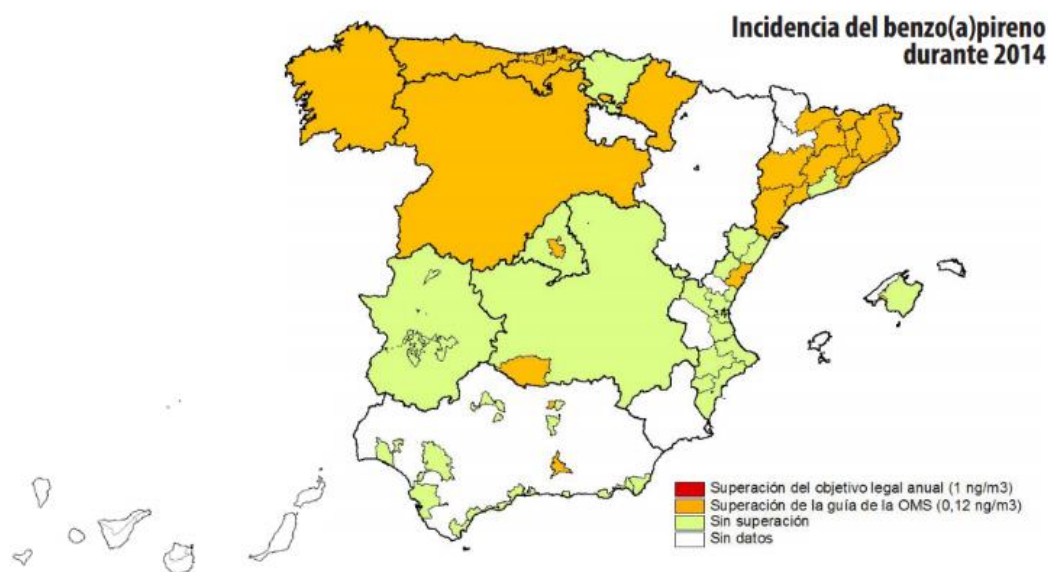


Imagen 9. Emisiones de benzo(a)pireno en 2014. Fuente [10]

La población que se encuentra afectada por las partículas en suspensión PM₁₀ es de 24,4 millones de personas (52,2% de la población) según el valor anual recomendado por la OMS. Durante 2014 la única zona donde la población se habría visto afectada por concentraciones que superan el valor límite diario (aunque no el anual) establecido por la normativa para este contaminante, a falta de realizarse los descuentos por intrusiones saharianas, habría sido las Palmas de Gran Canaria. El valor límite anuales para la protección de la salud humana corresponde a 40 µg/m³.

En referencia a la población afectada por las partículas en suspensión PM_{2,5}, ésta es de 26,3 millones de personas (56,3% de la población). En todo caso conviene señalar que la medición y evaluación de partículas PM_{2,5} resulta claramente insuficiente en la mayor parte de las redes de medición autonómicas. Hoy en día son pocas las estaciones que miden este contaminante, con varias comunidades autónomas en las que tan solo una estación de toda la red dispone de equipos de medición y con porcentajes de captura de datos muy escasos.

La población que respira niveles excesivos de NO₂ es de 9,8 millones de personas (21% de la población), teniendo en cuenta que el valor límite anual establecido para este contaminante es de 40 µg/m³ [83]. Este porcentaje se localiza en la ciudad de Madrid y las áreas metropolitanas de Barcelona, Granada, Murcia y Valencia.

Por lo que respecta al O_3 , éste afecta a una población de 39,6 millones de personas (84,7% de la población). Entre esta población se incluyen 6,3 millones de personas (13,4% de la población), que se ven afectadas por unas concentraciones que superan el objetivo establecido por la normativa para este contaminante. Por sus características particulares, el ozono afecta con mayor virulencia a las áreas rurales y suburbanas próximas a las grandes ciudades.

La población que soporta niveles elevados de NO_2 es de 3,8 millones de personas (8,2% de la población). Durante 2014 no se detectó ninguna zona donde la población o la vegetación se vieran afectadas por concentraciones que superasen los valores límites para la protección de la salud ni el nivel crítico para la protección de los ecosistemas.

Entre los restantes contaminantes regulados legalmente, destacan los niveles alcanzados en 2014 por el BaP, contaminante cancerígeno que se utiliza como indicador de los HAP. Con la incertidumbre propia de la escasa cobertura espacial y temporal de las mediciones, este contaminante afectaría a una población de 18,9 millones de personas (40,4% de la población).

3.2 Causas de la contaminación atmosférica

La calidad del aire que nos rodea viene determinada mayormente por la distribución geográfica de las fuentes de emisión de contaminantes y las cantidades de dichos contaminantes emitidas.

Los procesos físico-químicos que se producen en la atmósfera, la meteorología y la orografía condicionan significativamente los procesos de dispersión y transporte de estos contaminantes.

Por lo que respecta a las emisiones, éstas son de carácter primario. Pueden ser desde fuentes naturales, lo que incluye los fenómenos naturales tales como erupciones volcánicas, actividades sísmicas, actividades geotérmicas o incendios, fuertes vientos, aerosoles marinos, resuspensión atmosférica o transporte de partículas naturales procedentes de regiones áridas o bien desde fuentes antropogénicas; es decir, derivadas de las actividades humanas.

3.3 Contaminantes atmosféricos

Los contaminantes atmosféricos están divididos en primarios y secundarios. El primer grupo comprende los NO_x , SO_x , CO, aerosoles, hidrocarburos, halógenos y sus derivados (Cl_2 , HF, HCl haluros), arsénicos y sus derivados, ciertos

componentes orgánicos, metales pesados (Pb, Hg, Cu, Zn) y partículas minerales (asbesto y amianto). Por otro lado se encuentran los secundarios, los cuales se forman en la atmósfera mediante reacciones químicas de otros contaminantes que proceden en su mayor parte de fuentes antropogénicas, como por ejemplo el O_3 , sulfatos, nitratos, aldehídos, cetonas, ácidos, H_2O_2 y radicales libres.

Sin embargo, la clasificación hecha anteriormente hace referencia únicamente al origen, mientras que si aludimos a su estructura, encontramos que los contaminantes se subdividen en gases y partículas.

3.3.1 Partículas

En este grupo encontramos a los contaminantes atmosféricos más complejos, ya que engloban un amplio espectro de sustancias, tanto sólidas como líquidas, procedentes de diversas fuentes. Hay muchas fuentes de emisión diferentes, pero destacan especialmente el polvo (producido por desintegración mecánica), humos (procedentes de combustiones), brumas (por condensación de vapor) y aerosoles (mezcla de partículas sólidas y/o líquidas suspendidas en un gas).

Normalmente, en función de su tamaño, estas partículas se dividen en PM_{10} y $PM_{2,5}$. Sin embargo, hay otras partículas de tamaño menor llamadas PM_1 pero éstas no computan cuando se mide la calidad del aire.

3.3.1.1 Partículas PM_{10}

Estas partículas, también llamadas gruesas, cuyo diámetro es de $10\mu m$, se caracterizan por tener frecuentemente un importante componente de tipo natural, siendo contaminantes básicamente primarios que se generan por procesos mecánicos o de evaporación como son minerales locales o transportados, aerosol marino, partículas biológicas (restos vegetales) y partículas primarias derivadas de procesos industriales o del tráfico (asfaltoerosionado y restos de neumáticos y frenos generados por abrasión). Por lo que respecta a su estructura, hay pocos contaminantes secundarios que forman parte de ella, destacando solo los nitratos.

3.3.1.2 Partículas $PM_{2,5}$

También llamadas finas, estas partículas poseen un diámetro de $2,5\mu m$ y su composición es más tóxica que las PM_{10} , ya que su principal origen es derivado

de las acciones humanas, especialmente las emisiones de los vehículos diésel, estando fundamentalmente formadas por partículas secundarias tales como nitratos y sulfatos (originados por oxidación de NO_x y SO_x) y aerosoles orgánicos secundarios como el PAN y los HPA.

A diferencia de las anteriores, son pocas las fuentes primarias de partículas finas. Algunos ejemplos serían los procesos industriales de molienda y pulverización y los procesos rápidos de condensación de gases expulsados a altas temperaturas. Consecuentemente, la OMS aconseja utilizar como indicadores de calidad del aire las concentraciones de $\text{PM}_{2,5}$ en vez de las de PM_{10} .

Debido a que en las $\text{PM}_{2,5}$ la proporción de material mineral es significativamente menor, sus niveles no acostumbran a verse afectados por las intrusiones de polvo sahariano. Mientras que las PM_{10} pueden permanecer en el aire durante minutos o como máximo horas, las $\text{PM}_{2,5}$ consiguen mantenerse suspendidas en el aire durante días o incluso semanas a causa de su menor tamaño y peso.

3.3.2 Gases

Los principales gases contaminantes comprenden un amplio abanico de sustancias de carácter gaseoso de diversa naturaleza y con comportamientos químicos muy diferentes entre sí. Algunos son emitidos de manera natural, además de por las actividades vinculadas a los humanos. Concretamente, los contaminantes primarios son emitidos directamente a la atmósfera (como por ejemplo los NO_x y los SO_x), mientras que los secundarios son fruto de reacciones químicas presentes en la atmósfera.

3.3.2.1 Gases SO_x

Estos gases estan asociados con el contenido en azufre de los combustibles fósiles. Ejemplos de ello son la combustión del gasóleo en los vehículos, la producción de energía y carbón en las centrales térmicas, determinados procesos industriales y las calefacciones domésticas.

En la atmósfera urbana hay presente una gran cantidad de estos compuestos, pero los más relevantes a nivel práctico son el SO_2 , el SO_4 y los sulfatos. Los avances tecnológicos en el ámbito del combustible en Europa Occidental han conducido a una disminución considerable de las emisiones de SO_2 , aunque aún se pueden dar altas concentraciones puntuales a nivel local asociadas a

emisiones ocasionales. En especial, la mayor fuente natural de estas sustancias son los volcanes.

3.3.2.2 Gases NO_x

La principal fuente de emisión no natural de estos compuestos proviene de los combustibles fósiles usados para el transporte, calefacción y generación de energía. La mayoría de combustiones producen NO que, mediante procesos de oxidación da lugar al NO_2 . Algunas veces, la información que se suministra se refiere en términos de NO_x , indicando una mezcla de óxidos de nitrógeno.

3.3.2.3 Gases CO_x

Fundamentalmente son el CO y el CO_2 . Se liberan a la atmósfera como consecuencia de las combustiones incompletas (CO) y las completas (CO_2). La fuente principal del CO son los humos procedentes del escape de los vehículos a motor. Por lo que concierne al CO_2 , es uno de los principales contaminantes responsables del efecto invernadero.

3.3.2.4 Gases COV

Los COV son un grupo variado de compuestos presentes en la atmósfera que incluyen un amplio espectro de hidrocarburos como son los alcanos, alquenos, hidrocarburos aromáticos, cetonas, alcoholes, ésteres y algunos compuestos clorados. El C_6H_6 es un COV aromático que ha estado en el punto de mira de las autoridades sanitarias debido a su alta carcinogenicidad. El $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$ es un COV que actúa como importante precursor del ozono. En algunas ocasiones el CH_4 se mide de forma independiente al resto de los COV y entonces se habla de COVM.

3.3.2.5 Gases O_3

Este gas es, desde el punto de vista toxicológico, el más importante de los contaminantes citados. Está presente tanto en la baja atmósfera (troposfera) como en la alta (estratosfera). Sin embargo, dependiendo de su localización en la atmósfera puede ser bueno o dañino para la salud humana.

Dado que los contaminantes primarios procedentes de las emisiones de los automóviles reaccionan con él, puede encontrarse en concentraciones considerables incluso en zonas alejadas de las fuentes de emisión, y son a menudo más altos los niveles en los alrededores de las grandes ciudades que en el interior de las mismas.

Aunque el ozono presente en el aire más próximo a la superficie terrestre es el que conlleva mayores daños para la salud humana, el ozono presente en la estratosfera es una capa natural que protege la vida animal y vegetal de los rayos UV.

3.3.2.6 Otros compuestos

Además de las sustancias anteriormente citadas, en la atmósfera se encuentran una serie de contaminantes que se presentan más raramente pero que pueden producir efectos negativos sobre determinadas zonas por ser su emisión a la atmósfera muy localizada. Entre otros, se encuentran como más significativos los halógenos y sus derivados, el arsénico y sus derivados, partículas de metales ligeros y pesados como el plomo, el mercurio, cobre y zinc; partículas de sustancias minerales como el amianto y los asbestos y sustancias radiactivas.

3.4 Medidores de la contaminación atmosférica

Actualmente se hace uso de un gran número de recursos tecnológicos y biológicos para localizar contaminantes atmosféricos y medir la calidad del aire. Con la información aportada por estos elementos, es posible analizar y posteriormente interpretar dichos resultados para poder extraer conclusiones y tomar medidas al respecto. A continuación se desglosan los recursos mayormente utilizados.

3.4.1 Medidor/contador de partículas

3.4.1.1 CEL-712/K1+

Este aparato mide la concentración de partículas y micropartículas como son el polvo, humo, polen y otros aerosoles que se encuentran en el aire. Se ha desarrollado con la finalidad de detectar de manera exacta el grado de contaminación del aire. Mientras que los métodos tradicionales gravitatorios de medición de partículas precisan de un periodo de prueba considerable y no siempre son adecuados para la valoración de tendencias de concentración en

tiempo real, este dispositivo permite la representación gráfica de tendencias, el registro interno de valores, y la transmisión al PC; además de incorporar una pantalla a color de alta resolución.



Imagen 10. CEL-712/K1+. Fuente [13]

3.4.2 Medidor de gases

3.4.2.1 GasPro

Este instrumento dispone de sensores que detectan 5 gases diferentes, aunque si se incorporan nuevos sensores, es capaz de detectar 9 gases más. Esta gran polivalencia permite usar este dispositivo en canalizaciones, depuradoras, desagües, vertederos, barcos y en la industria química y petrolífera. Para su creación, se priorizó un uso sencillo y una buena lectura de pantalla.

Cabe destacar una función interesante que lleva incorporada, llamada “Positive Safety”, mediante la cual se puede detectar si el aparato está en condiciones de ser usado (luz verde), necesita una revisión/calibración (luz amarilla) o si no está disponible para su uso (luz roja). Finalmente, cabe añadir que dispone de una autonomía de hasta 19 horas, una memoria interna capaz de registrar los últimos 1000 eventos realizados (ej: encender, apagar, alarma, calibración, etc.) y los datos almacenados se pueden traspasar a un PC mediante un cable USB, una estación de carga con interfaz o una estación de calibración.



Imagen 11. GasPro. Fuente [14]

3.4.3 Estaciones

Otros mecanismos de medición de la contaminación atmosférica son las estaciones. Éstas, se encuentran en algunas ciudades y su función es registrar los niveles de contaminación de los contaminantes más peligrosos para la salud humana. Estos enclaves aportan información relevante para el análisis continuo, aunque cabe remarcar que algunas ciudades poseen estaciones situadas en zonas verdes o en sitios alejados del centro y evidentemente estos datos no reflejan en su totalidad la contaminación presente en dicha ciudad.



Imagen 12. Estación de calidad del aire. Fuente [74]

3.4.4 Aplicaciones y páginas web

3.4.4.1 World Air Quality Index

Este portal de Internet, considerado como uno de los más completos en el panorama actual, se dedica a recopilar los datos provenientes de las estaciones meteorológicas de cientos de ciudades de todo el mundo y los retransmite en directo en forma de mapa. El índice de la calidad del aire se divide en 6 subgrupos: buena, moderada, insalubre para grupos sensibles, insalubre, muy insalubre y peligrosa.

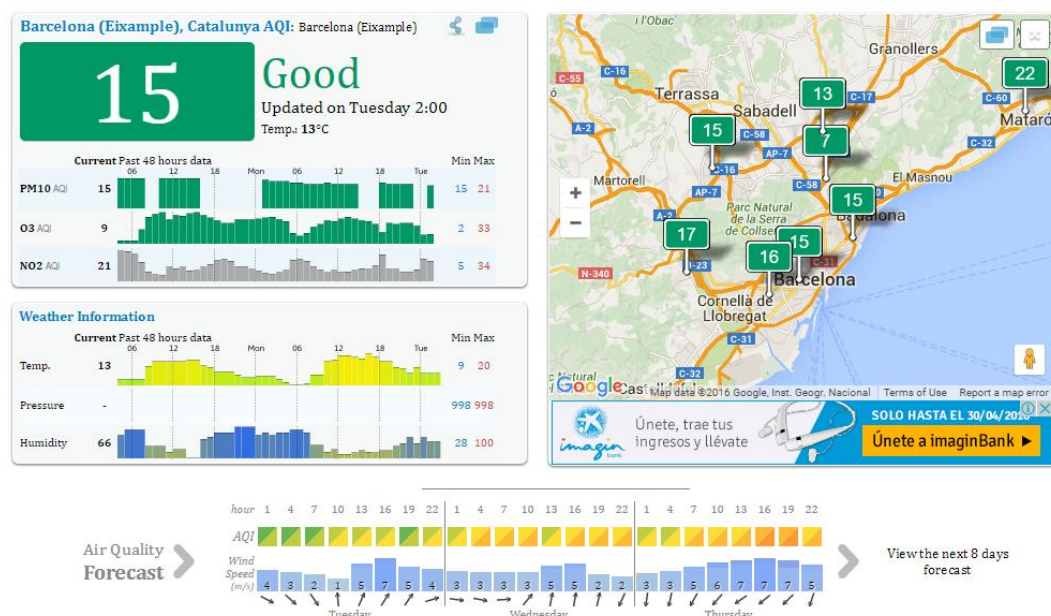


Imagen 13. World Air Quality Index. Fuente [75]

3.4.4.2 Caliope

Esta aplicación de móvil permite visualizar el pronóstico de la calidad del aire en España, además de los mapas de concentración para las próximas 12 horas de los principales contaminantes atmosféricos.

La aplicación utiliza el GPS del dispositivo móvil en cuestión para establecer su ubicación y consultar en línea las bases de datos del sistema CALIOPE, mostrando el pronóstico de la calidad del aire en las estaciones más cercanas mediante cinco categorías: buena, admisible, deficiente, mala y muy mala.

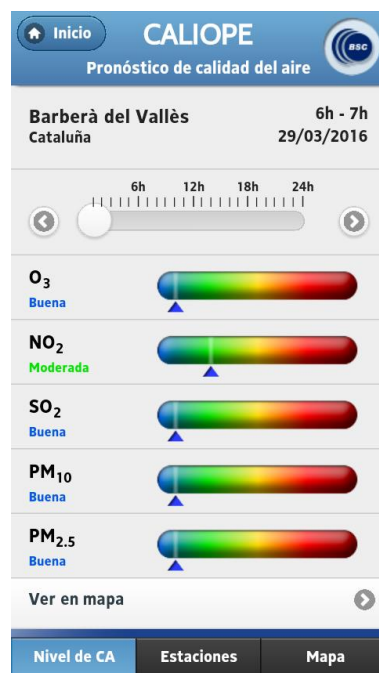


Imagen 14. Caliope. Fuente propia

3.4.5 Bioindicadores

Son organismos o comunidades de organismos que manifiestan una respuesta clara frente a una determinada sustancia, cambiando sus funciones vitales y/o su composición química, de manera que nos permiten obtener conclusiones sobre el estado del medio ambiente.

A diferencia de los análisis químicos llevados a cabo por los dispositivos electrónicos anteriormente citados, que suponen un alto coste y necesitan una alta densidad de puntos de muestreo; los análisis biológicos son integradores de datos (tanto de medias como de picos importantes) que miden los efectos ecotoxicológicos y la transferencia de contaminantes en las redes tróficas.

Estos bioindicadores son fundamentales para realizar la evaluación preliminar y monitorizar áreas que ya se sabe que están afectadas así como para verificar las zonas donde se están haciendo esfuerzos de restauración atmosférica.

3.4.5.1 Líquenes

Son una asociación simbiótica de un hongo y una alga, cuya estructura carece de raíz y absorción activa del sustrato. Tienen un ciclo de vida largo y están

ampliamente distribuidos, además de que son muy sensibles a los contaminantes gaseosos y a los cambios de pH. Son bioindicadores del SO_2 y bioacumuladores de S y metales pesados como el Pb y Fe.



Imagen 15. Liquen. Fuente [19]

3.4.5.2 Musgos

Son vegetales inferiores fotosintéticos, cuya estructura simple no posee tejidos conductores. Se multiplican vegetativamente con gran facilidad y obtienen muchos de sus nutrientes de sustancias disueltas en la humedad y en el sustrato. Análogamente a los líquenes, viven en lugares muy variados. Son bioindicadores del SO_2 y del O_3 y son bioacumuladores de metales pesados como el Pb, Fe, Cu, Ni, Cd, etc.



Imagen 16. Musgo. Fuente [19]

3.5 Consecuencias

3.5.1 Medio ambiente

3.5.2 Lluvia ácida

Se trata de cualquier forma de precipitación que presente elevadas concentraciones de H_2SO_4 y HNO_3 . También puede mostrarse en forma de nieve, niebla y partículas de material seco que se posan sobre la Tierra.

La capa vegetal y los volcanes en erupción emiten algunos químicos a la atmósfera, pero la mayor parte de estas precipitaciones son el resultado de la acción humana, siendo el mayor foco de emisión la quema de combustibles fósiles procedentes de plantas industriales y de los escapes de vehículos. Estos gases reaccionan con el agua, el oxígeno y otras sustancias para formar soluciones diluidas que los vientos propagan por la atmósfera.

Este fenómeno tiene muchas consecuencias nocivas para el entorno, pero sin lugar a dudas el efecto de mayor insidia lo tiene sobre los medios acuáticos.



Imagen 17. Efecto de la lluvia ácida. Fuente [22]

3.5.2.1 Smog fotoquímico

Este fenómeno que tiene lugar en las grandes ciudades resulta de una combinación de determinadas circunstancias climatológicas en presencia de contaminantes atmosféricos. Particularmente, las condiciones necesarias para que se produzca dicho fenómeno son las siguientes: tráfico importante (emisión de contaminantes), tiempo soleado y cálido (la radiación produce radicales iniciadores de las reacciones) y pocos movimientos de masas de aire (los contaminantes no se diluyen ni se dispersan).

Los productos finales de estas reacciones son O_3 , HNO_3 , NO_x , H_2O_2 , PAN y compuestos orgánicos parcialmente oxidados; dando lugar a una atmósfera irritante, nociva y tóxica de color anaranjado (debido al NO_2). Actualmente es la causa de muchas patologías y enfermedades respiratorias.

3.5.2.2 Polvo sahariano

El polvo sahariano, o también llamado Calima, es el término con el que se conoce a la presencia de polvo en suspensión que llega procedente del continente africano (principalmente de los desiertos del Sahara y Sahel). Debido a la cercanía al continente africano, las Islas Canarias son el mayor foco de atracción de este fenómeno, y especialmente las islas de Lanzarote, Fuerteventura y Gran Canaria.

Los episodios de mayor frecuencia suelen tener lugar en verano, con vientos de dirección sur a sureste donde el aire adopta un color amarillento-rojizo e impide la visibilidad. Por lo que respecta a las consecuencias para la salud humana, cabe destacar que la mayor amenaza la sufren los niños, los ancianos y las personas con problemas respiratorios; debido al descenso brusco de la calidad del aire.



Imagen 18. Calima en las Islas Canarias. Fuente [76]

3.5.2.3 Disminución de la capa de ozono

La capa de ozono que actúa como protector natural de los rayos UV está compuesta por ozono estratosférico (presente en los primeros 20-40km de la atmósfera). No obstante, debido a la emisión de CFCs por parte de productos de origen antropogénico, esta capa se ha visto degradada fuertemente en los últimos

años. Como consecuencia, la radiación UV traspasa con mayor intensidad y provoca daños en la salud humana, siendo el mayor peligro el cáncer de piel.

3.5.3 Salud humana

Son muchos los efectos a corto y largo plazo que la contaminación atmosférica puede ejercer sobre la salud de las personas. En efecto, la contaminación atmosférica urbana aumenta el riesgo de padecer enfermedades respiratorias agudas, como la neumonía; y crónicas, como el cáncer de pulmón.

La contaminación atmosférica afecta de distintas formas a diferentes grupos de personas. Los efectos más graves se producen en las personas que ya están enfermas. Además, los grupos más vulnerables, como los niños, los ancianos y las familias con pocos ingresos y con un acceso limitado a la asistencia médica son más susceptibles a los efectos nocivos de dicho fenómeno.

El mayor peligro para la salud humana en Europa son tanto las $PM_{2,5}$ como las PM_{10} . Debido a su pequeño tamaño, estas partículas son capaces de llegar a nuestros pulmones así como traspasar los tejidos cardiovasculares y inserirse en la sangre. A raíz de esto, desde hace unos años Europa tiene como uno de sus mayores puntos de mira la puesta en marcha de estrategias para lograr una disminución de este letal contaminante. Aunque estas partículas son las más dañinas para la salud humana, no hay que menospreciar el grave efecto que producen los otros contaminantes. A continuación podemos observar los principales efectos que produce cada contaminante por separado.

Partículas PM

Los efectos sobre la salud de este contaminante se producen a niveles de exposición a los que está sometida actualmente la mayoría de la población urbana y rural de los países desarrollados y en desarrollo. La exposición crónica a las partículas aumenta el riesgo de enfermedades cardiovasculares y respiratorias, así como de cáncer de pulmón. En los países en desarrollo, la exposición a los contaminantes derivados de la combustión de combustibles fósiles en fuegos abiertos y cocinas tradicionales en espacios cerrados aumenta el riesgo de infección aguda en las vías respiratorias inferiores y la mortalidad por esta causa en los niños pequeños.

La polución atmosférica en espacios interiores procedente de combustibles sólidos constituye también un importante factor de riesgo de enfermedad pulmonar obstructiva crónica y cáncer de pulmón entre adultos. La mortalidad en

ciudades con niveles elevados de contaminación supera entre un 15% y un 20% la registrada en ciudades más limpias. Incluso en la UE, la esperanza de vida promedio es de 8,6 meses inferior debido a la exposición a las PM 2,5 generadas por actividades humanas.

Gases SO_x

Estos contaminantes afectan al sistema respiratorio y a las funciones pulmonares, así como causan irritación ocular. La inflamación del sistema respiratorio provoca tos, secreción mucosa y agravamiento del asma y la bronquitis crónica, aumentando la propensión de las personas a contraer infecciones del sistema respiratorio. Los ingresos hospitalarios por cardiopatías y la mortalidad aumentan en los días en que los niveles de SO₂ son más elevados.

Gases NO_x

Estos contaminantes irritan los pulmones y son los causantes de generar una bajada en la resistencia a las infecciones respiratorias, como por ejemplo la gripe. La exposición continuada y frecuente a concentraciones más altas que las típicamente encontradas en el aire ambiental, pueden causar una mayor incidencia de enfermedades respiratorias, sobre todo en los niños.

Gases CO_x

La mayor peligrosidad de entre estos contaminantes es la del CO, debido a su fuerte afinidad para combinarse con la hemoglobina (el agente encargado de transportar el oxígeno de los pulmones a las células) de la sangre, degradando su capacidad para transportar dicho oxígeno. Aún en bajas concentraciones, estar expuesto a este contaminante es sinónimo de amenaza a la salud. Por ello, se recomienda estar alejado en la medida de lo posible de entornos cuyo tránsito de vehículos sea notoriamente alto.

Gases O₃

La exposición a este contaminante tiene efectos sobre el aparato respiratorio, entre otras cosas irrita las mucosas y llegando a producir afecciones pulmonares. Los primeros síntomas detectados a raíz de una exposición a éste son: tos, dolor de cabeza, náuseas, dolores pectorales y acortamiento de la respiración. Si los niveles de ozono superan el umbral de alerta se pueden

producir asimismo inflamaciones pulmonares, hiper-reactividad de las vías respiratorias y un grave deterioro de la actividad pulmonar.

Estos efectos dependen de distintas variables: la concentración de ozono, la ventilación durante la exposición y la duración de ésta. El ejercicio físico al aire libre es uno de los principales factores que influyen negativamente, ya que conlleva un aumento en la cantidad del ozono inhalado y una mayor penetración en los pulmones. Los niños, ancianos y quienes padecen enfermedades respiratorias son los grupos de mayor riesgo.

Gases COV

Los daños que infligen estos contaminantes a la salud humana se focalizan en la vía respiratoria, cuando se inhalan debido a su carácter altamente volátil. Sin embargo también pueden entrar a través de la piel, y a causa de sus propiedades liposolubles se combinan con los tejidos grasos acumulándose en distintos órganos.

Algunos estudios de toxicidad relacionan lesiones neurológicas con la exposición crónica a estos contaminantes, además de otros efectos psiquiátricos significativos tales como la irritabilidad y dificultades de concentración, afectación visual, verbal o motora, memoria, etc.

3.6 Contaminación por sectores

Prácticamente todos los sectores económicos son intensivos en el consumo de energía y dependen en mayor o menor medida de los combustibles fósiles. Consecuentemente, todos contribuyen en diferentes grados a la emisión de sustancias contaminantes. Sin embargo, a nivel europeo (y extrapolable a nivel mundial) el sector que genera mayores emisiones es la generación de energía.

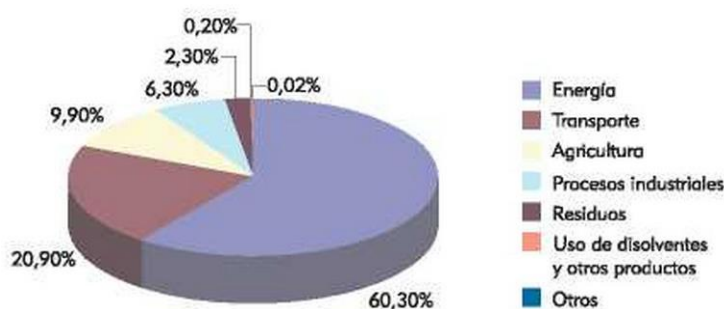


Imagen 19. Emisiones de GHG por sectores en la UE. Fuente [84]

4. Tipos de transporte y contaminación que generan

4.1 Definición y factores condicionantes

El transporte es una actividad del sector terciario entendida como el desplazamiento de objetos o personas de un lugar a otro en un medio de transporte que utiliza una determinada infraestructura. En los últimos dos siglos esta actividad terciaria ha sido una de las que más expansión ha experimentado, debido a la industrialización, cuyo fenómeno hizo aumentar el comercio y la frecuencia de los desplazamientos humanos tanto a escala nacional como internacional; así como los avances técnicos que se han producido y que han repercutido en una mayor rapidez, capacidad, seguridad y menor coste de transporte.

Los medios de transporte son los diferentes sistemas o maneras de desplazar un determinado contenido de un lugar a otro. Estos se clasifican en medios terrestres, aéreos y acuáticos, cada uno de los cuales necesita unas infraestructuras diferentes para su funcionamiento.

La red de transporte es la infraestructura necesaria para la circulación de los vehículos que transportan las mercancías o personas. Suelen estar dispuestas en el territorio conectando los núcleos de población de tal manera que se genere una red o malla de diferente densidad dependiendo del tráfico que haya en la zona. Normalmente, las redes más densas se sitúan entorno a los nudos o lugares en los que se conectan varios ejes o sirven de intercambiador entre medios de transporte diferente. La existencia de unas u otras redes de transporte, o de la mayor o menor densidad de las mismas viene determinada por una serie de condicionantes, que a continuación se detallan.

Históricos

Engloba a todos aquellos acontecimientos históricos o decisiones tomadas en el pasado que influyeron en mayor o menor medida en el diseño de la red de transporte; como por ejemplo la localización de la capital estatal, políticas más o menos centralistas, conflictos internos y externos, etc.

Naturales

El relieve o el clima determinan significativamente los ejes de transporte. De esta manera, el ferrocarril o la carretera se han de adaptar al relieve, siguiendo el paso natural por los puertos de montaña o bien salvar estos accidentes mediante la construcción de túneles, viaductos, etc. También el relieve es un condicionante para la localización de aeropuertos (para facilitar la maniobrabilidad de los

aviones) y puertos (necesitan tener un determinado calado para el acceso de los barcos).

El clima condiciona el transporte por carretera o ferrocarril especialmente en invierno, debido a las posibles nevadas o heladas, mientras que el transporte fluvial se ve influenciado de manera importante tanto en invierno (cuando se congelan los ríos) como en verano (estiaje de los ríos).

Espaciales

La distribución de los asentamientos de población en el territorio, así como la localización de las industrias, las materias primas y las fuentes de energía influyen de manera decisiva en la red de transportes, tanto en la densidad de la misma como en la conectividad de los ejes.

4.2 Tipos de transportes

4.2.1 Transporte terrestre

Este tipo de transporte es aquel cuyas redes se extienden por la superficie terrestre. Sus ejes son visibles, debido a que están formados por una infraestructura construida previamente por la que discurren las mercancías y las personas. Así pues existen redes de carreteras, caminos, ferrocarriles y otras redes especiales (eléctricas, de comunicaciones, oleoductos y gaseoductos). Dos conceptos a tener en cuenta son el flujo (tráfico que circula por la red de transporte), y capacidad (flujo máximo que es capaz de absorber la red).

Estas redes de transporte terrestre las podemos clasificar en función de su densidad en tres tipos, que a continuación se detallan.

Ejes aislados

Son todos aquellos que unen exclusivamente dos puntos de un territorio o conectan el lugar de producción con el de consumo. En los países desarrollados existen redes de algunas zonas en las que la población es escasa y consecuentemente los recursos naturales no son explotados.

Redes poco estructuradas

Se caracterizan por poseer varios ejes que pueden estar conectados o no entre sí, sin que exista una jerarquización entre ellos. Este tipo de redes son típicas de países subdesarrollados.

Redes estructuradas

Son aquellas en las que existe un elevado número de ejes, conectados entre sí y organizados de una manera jerárquica, facilitando de este modo el transporte por todo el territorio. Éstas son frecuentes en países desarrollados.

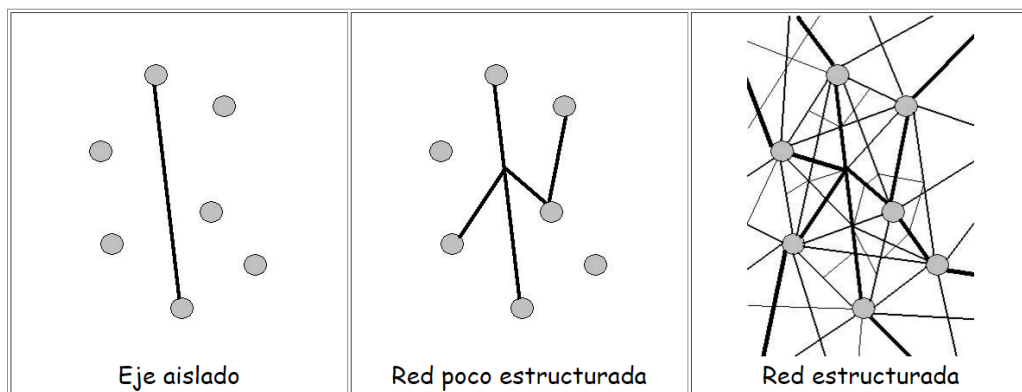


Imagen 19. Tipos de ejes terrestres según su densidad y organización. Fuente [31]

4.2.1.1 Transporte por carretera

Es el medio de transporte más importante en la actualidad tanto para mercancías como para personas, debido al gran desarrollo de los vehículos públicos y privados. Su ventaja radica en la gran flexibilidad que presenta, pues no se restringe a seguir unas rutas fijas como por ejemplo el ferrocarril, sino que dada la interconexión de los diferentes ejes se puede llegar a cualquier lugar siguiendo las carreteras. Como principales desventajas cabe destacar el elevado coste de construcción y mantenimiento de las infraestructuras viarias, o la congestión generada debido al aumento de los flujos.

El origen de esta red se remonta a los antiguos caminos de herradura que fueron transformados desde finales del siglo XIX y durante todo el siglo XX en carreteras. Además, con los años se ha ido facilitando el transporte y jerarquizando la red, es por esto que encontramos redes viarias compuestas por autopistas, autovías, etc. En los países desarrollados, la red es densa y altamente jerarquizada, constituyendo el principal objetivo de las autoridades el mantenimiento de las infraestructuras ya construidas y la transformación en autopistas de las vías de circulación más densas. Por el contrario, en los países subdesarrollados la red es bastante menos densa y presenta problemas de acondicionamiento, asfaltado, etc.

4.2.1.2 Transporte por ferrocarril

Su principal ventaja radica en su capacidad para transportar grandes volúmenes de mercancías, que se contrapone con su inflexibilidad, pues únicamente puede alcanzar los lugares a los que lleguen las vías férreas. Su desarrollo se concentró en el siglo XIX en el seno de los países desarrollados, siendo soporte de la primera revolución industrial.

Aunque durante el siglo XX le surgieron grandes competidores, como el avión para el transporte de viajeros de larga distancia o el transporte por carretera para la corta distancia y las mercancías, el ferrocarril se ha ido adaptando a las nuevas circunstancias desarrollando más velocidad, mayor confort y especialización en el tráfico de mercancías (contenedores, cisternas, vagones frigoríficos...). El futuro del ferrocarril está en las redes de alta velocidad, como es el caso de la red europea.

4.2.2 Transporte aéreo

El transporte aéreo se ha desarrollado a lo largo del siglo XX, con especial incidencia a partir de la segunda mitad del siglo, cuando los avances técnicos aplicados a la aviación (motor a reacción, sistemas de vuelo...) han producido aviones más rápidos, seguros y de mayor capacidad. En un principio su uso civil era casi exclusivamente para el transporte de viajeros y de mercancías poco voluminosas, aunque con el paso del tiempo van adquiriendo mayor importancia otro tipo de mercancías, que necesitan una rápida distribución. En el transporte de viajeros, se ha experimentado un claro aumento de los usuarios, debido tanto al incremento del número de plazas disponibles, como a la bajada de las tarifas aéreas; así como a la diversificación de los destinos tanto a largo como a corto recorrido.

El transporte aéreo necesita aeropuertos para su funcionamiento. Estas infraestructuras son grandes consumidoras de espacio, tanto para las pistas de aterrizaje y despegue como para las edificaciones necesarias para un correcto funcionamiento aeroportuario: hangares, terminales de viajeros y mercancías, aparcamientos, almacenes, edificios de servicio, etc. Los aeropuertos suelen ser nudos de comunicación de varios medios de transporte, por lo que a sus inmediaciones llegan autopistas, carreteras o líneas de ferrocarril, que facilitan la comunicación con el resto del país. Además, la presencia de aeropuertos induce a la localización en torno a ellos de una serie de actividades económicas relacionadas con él, tales como hoteles, empresas de alquiler de vehículos, empresas de transporte urgente, centros de negocios, etc.; que generan una dinámica económica muy importante en la zona.

4.2.3 Transporte acuático

El transporte acuático es el realizado mediante barco, pudiéndose distinguir entre el transporte fluvial (por ríos y canales) y el marítimo. Su principal ventaja radica en poder transportar mercancías voluminosas a bajo coste, mientras que en contrapartida la velocidad del transporte es bastante lenta. Este hecho ha provocado la decadencia del transporte de viajeros de larga distancia, aunque en las distancias cortas se mantiene el ferry.

Tanto el transporte fluvial como el marítimo necesitan de puertos para prestar sus servicios, además de que estas infraestructuras sirven para la interconexión entre diferentes medios de transportes, por lo que deben tener las edificaciones y almacenes necesarios para el desarrollo de su actividad.

4.2.3.1 Transporte fluvial

Los ríos son excelentes vías para adentrarse en los continentes aunque no todos los ríos son navegables, ya que esta condición depende del caudal, el relieve del cauce (que no formen rápidos ni cataratas), del clima (algunos ríos se hielan en invierno y otros se secan en verano), etc. A pesar de estos condicionantes, existen numerosas redes de transporte fluvial en el mundo, como por ejemplo en el Reino Unido o en el norte de Europa, en la que se han unido los ríos Danubio y Rin mediante canales.

4.2.3.2 Transporte marítimo

En la actualidad está centrado prácticamente en el transporte de mercancías, quedando el de pasajeros reducido a los viajes de placer o cruceros y al transporte de corta distancia realizados por el ferry. El desarrollo de la marina mercante se ha basado en el aumento del tonelaje de los barcos (capacidad de las bodegas), la especialización (barcos dedicados al transporte de un solo producto: petroleros, barcos frigoríficos, porta-contenedores, etc.) y el aumento de la velocidad.

Estas transformaciones han hecho que se reduzca el coste del transporte de las mercancías. Por otra parte el aumento del comercio marítimo ha redundado en la necesidad de mayores espacios para almacenes, contenedores, industrias asociadas a productos transportados por barco (refinerías, petroquímicas, etc.); con lo que los puertos han crecido considerablemente, alejándose del centro de las ciudades portuarias.

4.3 Contaminación en el transporte

El sector del transporte contribuye a las emisiones de varios contaminantes ambientales, con la consecuencia inmediata de generar un aire de peor calidad, especialmente en las zonas urbanas con denso tráfico. Sin embargo, desde 1990 se ha llevado a cabo una gran labor por lo que refiere a la reducción de las emisiones atmosféricas. De entre todos los tipos de transportes, solo ha incrementado sus emisiones la aviación internacional y la marítima. Entre 1990 y 2013, las emisiones de los principales contaminantes decrecieron las siguientes cifras: NO_x (35%), PM₁₀ (27%), SO_x (36%), CO (82%), VOC (83%)^[33].

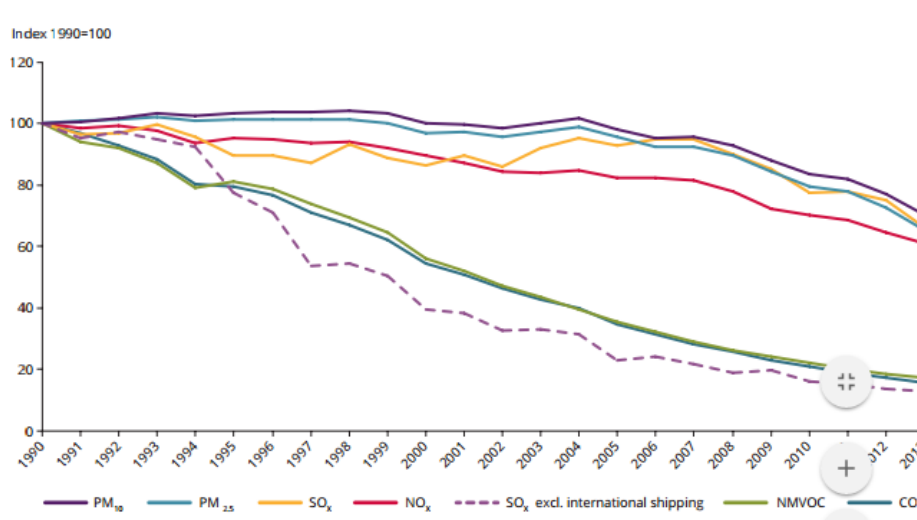


Gráfico 4. Emisiones del sector del transporte. Fuente [33]

4.3.1 Gases CO y VOC

La reducción de las emisiones de CO y VOC son debidas mayoritariamente a la introducción de las normas Euro y particularmente a la implementación del catalizador tanto en los vehículos ligeros como pesados. El transporte por carretera es la fuente principal de las emisiones de Co en el sector del transporte, siendo el responsable de más del 90%. Por lo que respecta a los VOC, el desarrollo de canisters en los automóviles de gasolina con el fin de controlar y gestionar adecuadamente las emisiones de hidrocarburos evaporados en el combustible ha sido una pieza clave para lograr este descenso en las emisiones. Por otra parte, el auge de los automóviles diésel ha sido asimismo un factor relevante en la reducción de las emisiones de dicho contaminante.

4.3.2 Gases NO_x y partículas PM_{10}

Las emisiones de estos dos contaminantes han decrecido desde el año 2000 para todos los tipos de transportes a excepción de la aviación internacional. Particularmente, las emisiones de NO_x han decrecido un 32% desde 2000, en gran parte debido a los avances técnicos en el sector del transporte por carretera. Las emisiones correspondientes al transporte marítimo internacional crecieron durante los primeros años pero más tarde volvieron a tomar niveles parecidos al del año 2000. Sólo las emisiones atribuidas a la aviación internacional subieron un 25%, aunque todavía son relativamente pequeñas comparadas con otro tipo de transportes. La electrificación de la red ferroviaria junto con la mejora en la eficiencia de la energía, fue el factor con mayor contribución a la reducción de las emisiones en el sector del transporte ferroviario. La situación es parecida en el caso de las emisiones de PM_{10} , ya que éstas han decrecido un 30% desde 2000; siendo el transporte por carretera el mayor exponente con un 57%.

Tanto las emisiones de NO_x como las de PM_{10} dependen principalmente de la tecnología de combustión y del grado de uso del combustible. La introducción de las normas Euro ha ayudado a reducir las emisiones de los nuevos vehículos aunque sus beneficios no se palparán al completo hasta dentro de unos años. Para algunos contaminantes, incluyendo el NO_x , hay una significativa y creciente discrepancia entre las pruebas oficiales de emisiones que evalúan el cumplimiento de las normas Euro y el funcionamiento real del vehículo.

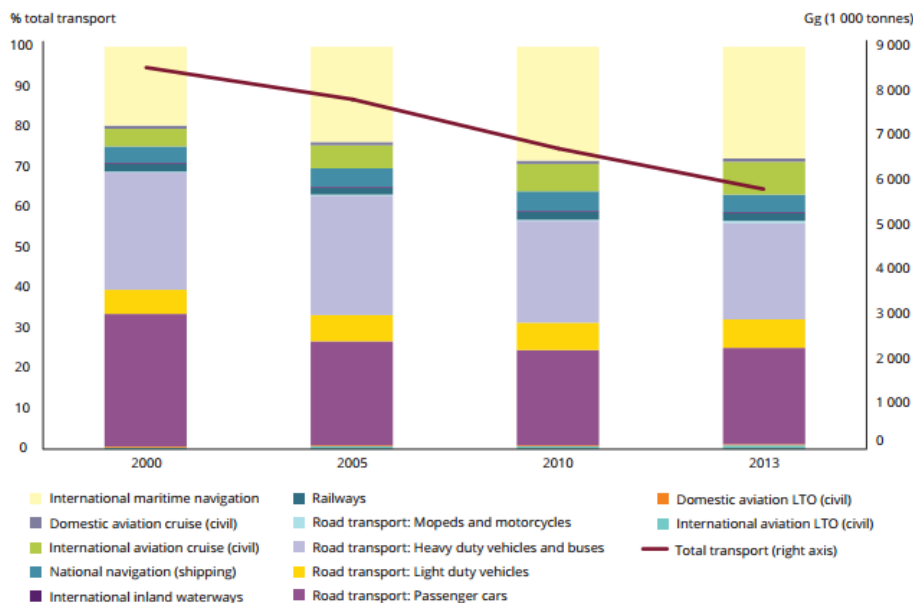


Gráfico 5. Emisiones de NO_x por sectores. Fuente [33]

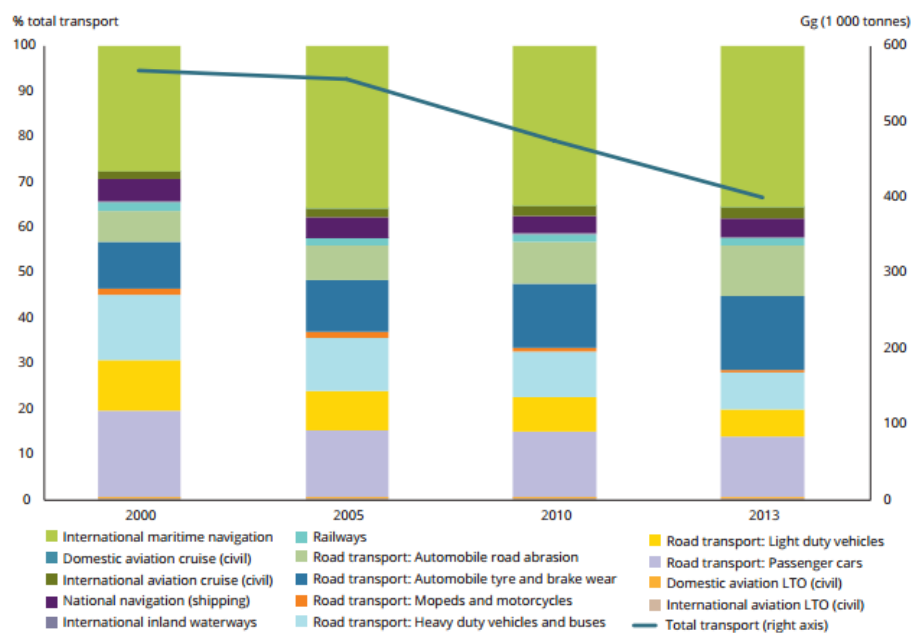


Gráfico 6. Emisiones de PM_{10} por sectores. Fuente [33]

4.3.3 Gases SO_x

Las emisiones de SO_x dependen principalmente de la cantidad de azufre contenido en el combustible quemado y no de la tecnología de escape a diferencia de los NO_x y de las PM₁₀. Estas emisiones han disminuido desde el año 2000 en un 23% en todos los tipos de transporte a excepción de la aviación internacional, cuyas emisiones en 2013 tomaron un valor un 30% mayor de las registradas el 2000. Las emisiones correspondientes al transporte marítimo se redujeron después de la crisis económica a la par que la demanda en el transporte fue un 11% menor que en el 2000. A pesar de este hecho, este sector fue responsable en 2013 de más del 90% de las emisiones totales de SO_x del sector del transporte.

Junto con la ya comentada reducción de la demanda en el transporte debido a la recesión económica, los límites en la calidad del combustible establecidos en la UE y a nivel internacional que determinan el valor máximo de azufre en el combustible fue la otra razón principal que condujo a la reducción de dichas emisiones. El efecto del establecimiento de nuevos límites más estrictos en 2005 y en 2009 es claramente visible en el transporte por carretera, ferroviario y en la navegación interior. En el caso del transporte marítimo, hubo una pequeña disminución a partir del año 2007, aunque el contenido absoluto de azufre sigue siendo muy alto. Además del establecimiento de estos límites, la electrificación de la red ferroviaria contribuyó notablemente en la reducción de las emisiones.

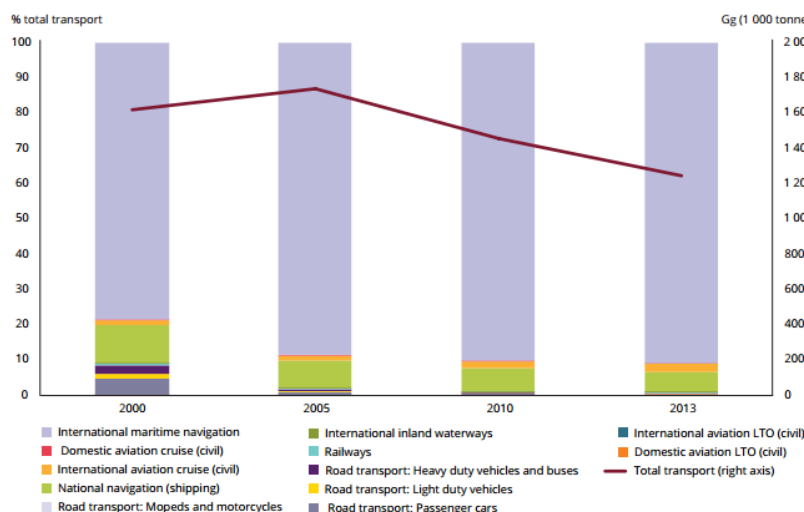


Gráfico 7. Emisiones de SO_x por sectores. Fuente [33]

Cabe destacar que el valor máximo de azufre contenido en el combustible diésel para maquinaria móvil (su uso no es de carretera) tuvo que cumplir las mismas normas de emisión que las establecidas para el transporte por carretera a partir del 2011.

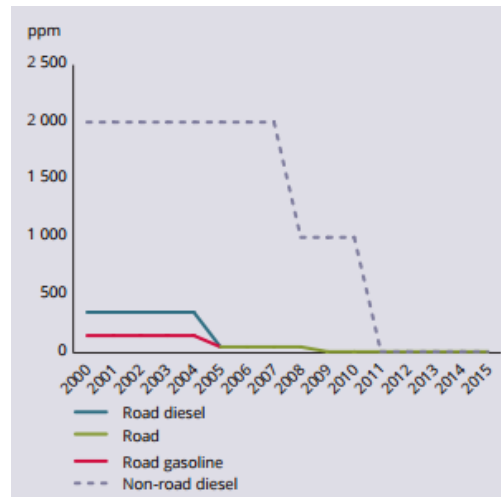


Gráfico 8. Límites de azufre establecidos por la última directiva (EU, 2012).

Fuente [33]

5. Normativa y legislación de emisiones por contaminación

5.1 Normativa vigente

5.1.1 Europea

Desde la década de los setenta, la UE ha aprobado más de 200 textos legislativos para proteger el medio ambiente. Pero por sí sola la legislación sirve de poco si no se aplica y se hace cumplir debidamente. Por este motivo, el reto al que nos enfrentamos es poner en práctica de manera eficaz todo lo establecido. Se trata de un objetivo complejo, ya que incluye gran variedad de tareas que están en manos de colectivos muy diversos, desde inspectores y magistrados nacionales, hasta ONG y ciudadanos que ejercen sus derechos de participación.

El incumplimiento de la legislación tiene numerosas consecuencias negativas: puede minar objetivos medioambientales fundamentales, perjudica a la salud humana y genera inseguridad reglamentaria para la industria. En cambio, aplicar correctamente la normativa puede aportar beneficios económicos: se generan puestos de trabajo y los costes netos asociados a esta mala práctica se reducen.

La Comisión Europea puede emprender acciones judiciales ante el Tribunal de Justicia de la Unión Europea contra los Estados miembros que no aplican correctamente la legislación. Las infracciones (la mayoría de las cuales afectan al medio ambiente más que a cualquier otro aspecto) no solo son engorrosas para las administraciones, sino que pueden dar lugar a multas por el incumplimiento reiterado de las normas.

5.1.1.1 Directiva 2010/75/EU

El 17 de diciembre de 2010 fue publicada en el Diario Oficial de la Unión Europea (DOUE) la más reciente normativa hasta la fecha de hoy referente a emisiones industriales. Dicha normativa entró en vigor el 6 de enero de 2011, fecha a partir de la cual los Estados miembros de la UE dispusieron de un plazo de 2 años para adoptar las disposiciones legales necesarias que garantizarían su correcto cumplimiento.

El objetivo de esta nueva norma es lograr un mayor nivel de protección del medio ambiente y de la salud humana así como simplificar el marco jurídico y las cargas administrativas. Esta directiva refunde y modifica seis directivas ya existentes:

- Directiva sobre Prevención y Control Integrado de la Contaminación IPPC
- Directiva de Grandes Instalaciones de Combustión (GIC)

- Directiva de Incineración de Residuos
- Directivas de COV
- Tres Directivas sobre TiO_2

Las principales novedades introducidas por esta Directiva son:

1. Documentos de referencia MTD e intercambio de información (artículo 13.5)

Será la Comisión (asesorada por un Comité compuesto por representantes de los Estados miembro) la que apruebe mediante el proceso de Comitología el capítulo del BREF relativo a las conclusiones sobre las MTD, fortaleciendo de esta manera el papel de los BREF y de las MTD. En consecuencia, las conclusiones sobre las MTD deberán ser la referencia para establecer las condiciones del permiso.

2. VLE/Derogaciones (artículo 15.3 y 15.4)

La autoridad competente deberá establecer permisos con VLE que aseguren que las emisiones no excedan los valores de emisión asociados a las MTD que figuren en las conclusiones sobre las MTD. No obstante, se podrán dar exenciones en determinados casos, fijándose VLE menos estrictos si se justifica adecuadamente que los costes serían desproporcionadamente más altos que los beneficios ambientales debido a la localización geográfica o las condiciones ambientales locales o las características técnicas de la instalación.

3. VLE sectoriales a nivel europeo (artículo 73)

La Comisión podrá establecer, mediante una propuesta legislativa, unos requisitos mínimos sectoriales a escala de la UE relativos a los VLE y a normas de control y cumplimiento si así lo considera necesario tras una evaluación del estado de aplicación de las MTD para las actividades que hayan aprobado su BREF en los 3 años anteriores a dicha evaluación.

4. Actualización de las condiciones del permiso (artículo 21.3)

Las condiciones del permiso deben actualizarse dentro de un plazo de 4 años a partir de la adopción de las conclusiones sobre las MTD.

5. Flexibilidad para Grandes Instalaciones de Combustión (artículo 31-35)

Se introducen ciertos mecanismos de flexibilidad para GIC que faciliten el cumplimiento de los nuevos VLE de forma gradual: índices de desulfuración, Plan Nacional Transitorio, exenciones por vida útil limitada, así como exenciones para instalaciones de calefacción urbana y para pequeñas redes aisladas.

6. Suelos (artículo 22)

Se requiere un informe de situación de partida cuando se usan o producen sustancias peligrosas relevantes. Tras el cese definitivo de una instalación el operador deberá evaluar el estado de contaminación del suelo y las aguas y compararlo con el informe de situación de partida. Cuando la comparación indica contaminación, el titular tomará las medidas adecuadas para hacer frente a dicha contaminación con objeto de restablecer el emplazamiento de la instalación al estado de partida.

7. Requisitos de control (artículo 16.2)

Se establece un requisito de monitorización periódica como mínimo cada cinco años para aguas subterráneas y cada diez años para el suelo.

8. Informe de cumplimiento (artículo 14.d)

El operador deberá comunicar a la autoridad competente al menos una vez al año información que permita verificar el cumplimiento de las condiciones de permiso.

5.1.1.2 Normativas Euro

Para tener un mayor control sobre las emisiones de los vehículos en Europa, la UE ha ido estableciendo varias normativas con el fin de regular y disminuir dichas emisiones. Estas normativas están basadas en la Directiva 70/220/EEC, aunque son comúnmente conocidas como Euro.

Euro 1 (1992)

La instauración de la Euro 1 supuso el paso al uso de la gasolina sin plomo como carburante y a la implementación del catalizador como accesorio

indispensable para reducir las emisiones de CO y cumplir con los límites establecidos que a continuación se detallan:

- CO: 2,72 g/km (**gasolina y diésel**)
- HC + NO_x: 0,97 g/km (**gasolina y diésel**)
- PM: 0,14 g/km (**diésel**)

Euro 2 (1996)

Con la introducción de la Euro 2 se reduce aún más el límite de emisiones para el CO así como análogamente se reduce el límite combinado para HC no quemados y NO_x tanto para vehículos diésel como para gasolina.

Esta normativa fue la primera que introdujo límites diferentes para vehículos diésel y gasolina.

Gasolina

- CO: 2,2 g/km
- HC + NO_x: 0,5 g/km
- PM: no hay límite

Diésel

- CO: 1 g/km
- HC + NO_x: 0,7 g/km
- PM: 0,08 g/km

Euro 3 (2000)

La primera medida que se adoptó en esta normativa fue modificar el procedimiento de ensayo con el objetivo de eliminar el período de calentamiento del motor. Además, se redujo aún más el valor límite de emisiones de CO y PM y se estableció un límite de emisiones NO_x diferente para los motores diésel. Por último, se fijaron límites separados para HC y NO_x para los vehículos de gasolina.

Gasolina

- CO: 2,3 g/km

- HC: 0,2 g/km
- NO_x: 0,15 g/km
- PM: no hay límite

Diésel

- CO: 0,64 g/km
- HC + NO_x: 0,56 g/km
- NO_x: 0,5 g/km
- PM: 0,05 g/km

Euro 4 (2005)

Tanto la Euro 4 como la Euro 5 se fijaron como mayor objetivo reducir drásticamente las emisiones en vehículos diésel, particularmente en las PM y los NO_x.

Gasolina

- CO: 1 g/km
- HC: 0,1 g/km
- NO_x: 0,08 g/km
- PM: no hay límite

Diésel

- CO: 0,5 g/km
- HC + NO_x: 0,3 g/km
- NO_x: 0,25 g/km
- PM: 0,025 g/km

Euro 5 (2009)

En esta normativa disminuyeron los límites en las emisiones de PM en los vehículos diésel y se dictaminó que para lograr los requisitos de validez era obligatorio el uso de filtros de partículas. Por otra parte, también decreció el valor límite en NO_x y por primera vez se estableció un límite para las PM en vehículos de gasolina con motor de inyección directa. Como última medida, se marcó tanto un límite en la cantidad de partículas emitidas como en el tamaño de éstas.

Gasolina

- CO: 1 g/km
- HC: 0,1 g/km
- NO_x: 0,06 g/km
- PM: 0,005 g/km (solo para motores de inyección directa)

Diésel

- CO: 0,5 g/km
- HC + NO_x: 0,23 g/km
- NO_x: 0,18 g/km
- PM₁₀: 0,025 g/km
- PM_{2,5}: $6 \cdot 10^{11}$ g/km

Euro 6 (2014)

En la misma línea que las últimas Euro, se redujo sustancialmente el valor límite de emisiones para motores diésel y se establecieron valores similares tanto para vehículos de gasolina como diésel.

Una medida importante que se implantó fue el sistema de Recirculación de Gases de Escape (EGR), cuyo funcionamiento se basa en sustituir parte del aire de admisión por gas reciclado procedente del escape con el objetivo de reducir la cantidad de nitrógeno disponible para ser oxidado a NO_x durante la combustión. Para lograr un correcto funcionamiento este sistema pide un tratamiento posterior en el escape conjuntamente con la ayuda de los filtros de partículas implantados en la Euro 5.

Otros accesorios propuestos, pero no de carácter obligatorio, que pueden llevar equipados los vehículos diésel correspondientes a esta normativa son:

- Absorbedor de NO_x , cuya función es la de almacenar estos gases y reducirlos a nitrógeno mediante catálisis.
- El sistema de Reducción Catalítica Selectiva (SCR), cuyo objetivo es convertir NO_x en nitrógeno y agua con el uso de un aditivo que contiene urea llamado AdBlue.
- El uso de Cerio (Ce), el cual es inyectado en el depósito de combustible cada vez que éste se llena con la misión de disminuir la temperatura del carburante y así poder garantizar la regeneración de Adblue.

Gasolina

- CO: 1 g/km
- HC: 0,1 g/km
- NO_x : 0,06 g/km
- PM_{10} : 0,005 g/km (solo para motores de inyección directa)
- $\text{PM}_{2,5}$: $6 \cdot 10^{11}$ g/km (solo para motores de inyección directa)

Diésel

- CO: 0,5 g/km
- HC + NO_x : 0,17 g/km
- NO_x : 0,08 g/km
- PM_{10} : 0,005 g/km
- $\text{PM}_{2,5}$: $6 \cdot 10^{11}$ g/km

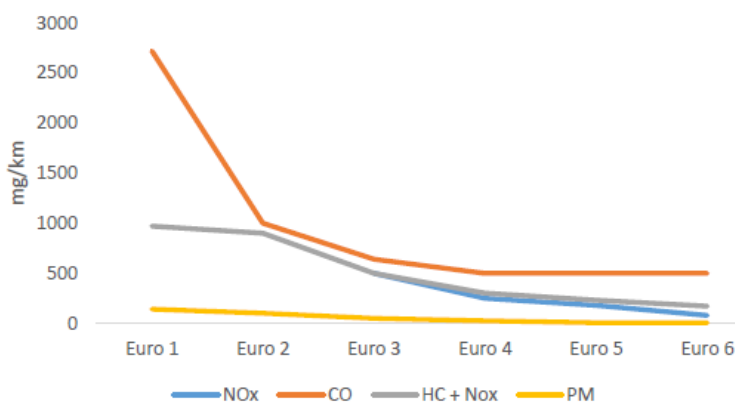


Gráfico 9. Valores límite de emisión para vehículos diésel. Fuente [33]

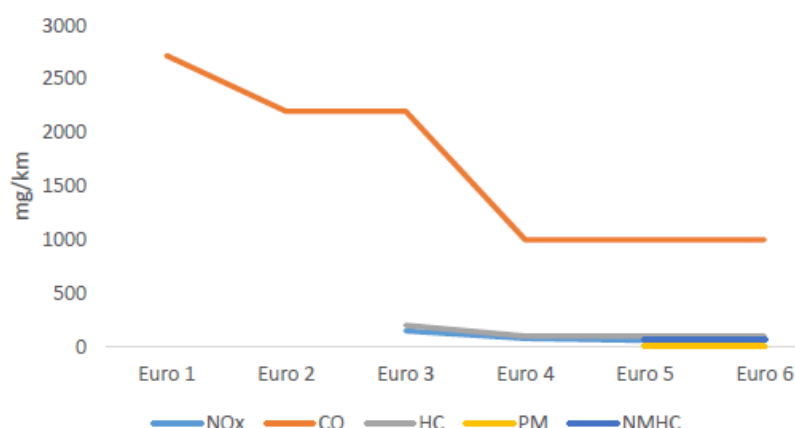


Gráfico 10. Valores límite de emisión para vehículos de gasolina. Fuente [33]

5.1.2 Española

La política estatal sobre medio ambiente ha sufrido un gran empujón desde la entrada de España en la UE. Como el Estado asume los objetivos fijados en las políticas comunitarias en materia de medio ambiente, rigen las mismas premisas y problemas que en el ámbito comunitario. Cabe destacar, antes de entrar en detalle en la legislación de la contaminación atmosférica, la existencia de dos normas sobre el medio ambiente:

Directiva 96/61	Control integrado de la contaminación. Pretende establecer un sistema de prevención y control integrado de la contaminación, rompiendo con la política seguida de regulación sectorial de los problemas ambientales. (Deberá ser traspuesta por el Estado español antes de finales de este año).
Anteproyecto de ley	Responsabilidad civil por daños al medio ambiente. Afectará a todas las actividades relacionadas con la problemática medioambiental y tendrá grandes repercusiones en los ámbitos civil, mercantil y procesal.

Tabla 3. Normas sobre el medioambiente en España. Fuente [82]

Por lo que respecta a la emisión de contaminantes, el Estado español adopta determinadas posturas, las cuales se detallan a continuación:

- Por un lado, en relación con el cambio climático, se constituye el Consejo Nacional del Clima, que tiene por objeto la elaboración y aplicación de una estrategia nacional frente al cambio climático.

- Por otro lado, se adopta la política comunitaria sobre limitación y reducción de las emisiones contaminantes a la atmósfera, sobre todo en materia de emisiones de los vehículos. Para ello establece unos niveles de inmisión y de emisión permitidos respecto de determinado tipo de sustancias, siguiendo una tendencia de aumento de sustancias controladas y de reducción de niveles permitidos.
- Además, como instrumentos de lucha contra la contaminación, se establecen los siguientes:
 - Creación de una Red Nacional de Vigilancia y Previsión de la Contaminación Atmosférica, que se encargue de controlar la contaminación de la atmosfera mediante estudios y análisis, e informe de los datos obtenidos.
 - Promulgación de disposiciones generales sobre criterios de calidad del aire, niveles de emisión de sustancias contaminantes, calidades de los combustibles y carburantes utilizables, controles de fabricación y homologación de motores.

La instrumentación de esta política sobre calidad del aire adoptada por el Estado español, se realiza a través de la aprobación de una serie de normas. En primer lugar, se establece una regulación básica de la contaminación atmosférica, que está recogida en:

Ley 38/72	Establece que los titulares de los focos emisores de contaminantes a la atmósfera, y especialmente los generadores de calor y vehículos de motor, están obligados a respetar los niveles de emisión que el Gobierno establezca previamente con carácter general.
Decreto 833/75	Establece los límites de emisión de los contaminantes.
Real Decreto 1613/85	Establece nuevas normas de calidad del aire en lo referente a la contaminación producida por el dióxido de azufre y las partículas (Modificación del Decreto 833/75).
Real Decreto 717/87	Establece nuevas normas de calidad del aire en lo referente a la contaminación producida por el dióxido de nitrógeno y el plomo (Modifica parcialmente el Decreto 833/75).

Tabla 4. Normas sobre la contaminación atmosférica en España. Fuente [82]

Además de esta regulación básica existe una regulación sectorial en materia de contaminación atmosférica:

NORMAS SOBRE NIVELES DE EMISIÓN

Decreto 3025/74	Sobre limitaciones de la contaminación atmosférica producida por vehículos automóviles. Se debe: <ul style="list-style-type: none"> - Realizar un mantenimiento de los vehículos automóviles de forma que cumplan como mínimo las exigencias fijadas. - Someter periódicamente a inspección técnica los vehículos automóviles.
-----------------	--

NORMAS QUE REGULAN DIVERSOS ASPECTOS DE CONTAMINANTES CONCRETOS

Real Decreto 108/91	Sobre prevención y reducción de la contaminación del medio ambiente producida por el amianto. Establece, entre otras, las siguientes obligaciones: <ul style="list-style-type: none"> - Reducir o evitar las emisiones de amianto a la atmósfera, como vertidos líquidos y como residuos. - Tener en cuenta la mejor tecnología disponible, que no entrañe costes excesivos, para eliminar o reducir en origen las emisiones, vertidos y residuos en caso de utilización de amianto.
Real Decreto 2102/96	Sobre control de emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV's), resultantes del almacenamiento y distribución de gasolina desde las terminales a las estaciones de servicio. Establece que se debe ajustar el diseño y funcionamiento de las instalaciones de almacenamiento a los requisitos técnicos previstos en el anexo 1 de este R.D.
Real Decreto 1751/98	Por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITE). Establece como obligaciones: <ul style="list-style-type: none"> - Mantener las prestaciones y el rendimiento de las instalaciones y de cada uno de sus componentes, durante la vida útil prevista, dentro de los límites establecidos en las correspondientes instrucciones técnicas. - Cumplir con la periodicidad de las comprobaciones de las instalaciones que deben realizarse.

Tabla 5. Legislación sectorial sobre la contaminación atmosférica en España.

Fuente [82]

5.1.3 Autonómica

Dentro del Estado español, las Comunidades Autónomas (CA) tienen la posibilidad de asumir dos competencias que les concede la Constitución: la gestión en materia de protección del medio ambiente y dictar normas adicionales de protección del medio ambiente.

La mayoría de las CA han asumido estas dos competencias pero, como no ha sido todas, el Estado ejerce dichas competencias con carácter supletorio. Esta situación da lugar a la existencia de una gran cantidad de normas que tratan de corregir los impactos negativos sobre el medio ambiente. Cabe destacar que las comunidades de Andalucía, Baleares, Galicia, Madrid, Murcia y el País Vasco han decidido regular de forma general la protección del medio ambiente dictando las siguientes normas:

Andalucía	Ley 7/94	De Protección Ambiental, que establece una regulación conjunta de la protección atmosférica, residuos en general y calidad de las aguas.
Baleares	Ley 12/91	Recoge el impuesto sobre instalaciones, que es un tributo de carácter directo y naturaleza real que grava los elementos patrimoniales afectos a la realización de actividades que incidan sobre el medio ambiente en los términos previstos en dicha norma.
Galicia	Ley 1/195	De Protección Ambiental.
Madrid	Ley 10/91	De Protección del Medio Ambiente.
Murcia	Ley 1/95	De Protección del Medio Ambiente.
País Vasco	Ley 3/98	De Protección del Medio Ambiente.

Tabla 6. Legislación sobre el medio ambiente en algunas CA. Fuente [82]

En relación con la calidad del aire, la mayoría de CA no dictan normas adicionales para su protección sino que se remiten a la legislación estatal. Pero Andalucía, Cataluña y Galicia deciden asumir competencias sobre el tema:

Andalucía	Decreto 74/96	Que aprueba el Reglamento de calidad del aire. Establece que las emisiones de contaminantes a la atmósfera no podrán rebasar los niveles máximos de emisión establecidos previamente en la normativa vigente.
Cataluña	Ley 22/83	De protección del ambiente atmosférico, modificada por la Ley 6/96 y desarrollada por el Decreto 322/87. Establece que: <ul style="list-style-type: none"> - Las emisiones de contaminantes a la atmósfera no podrán rebasar los niveles máximos de emisión establecidos. - Los titulares de actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera están obligados a disponer de la licencia municipal de actividades o autorización equivalente y a adoptar las medidas necesarias para garantizar que se respetan los niveles máximos de emisión.
Galicia	Ley 12/95	Crea el impuesto sobre contaminación atmosférica, que se aplicará a todos los focos emisores ubicados en Galicia y que emitan SO ₂ y/o NO _x .

Tabla 7. Legislación sobre contaminación atmosférica en algunas CA. Fuente [82]

5.2 Estrategias e iniciativas

5.2.1 20/20/20

Actualmente el cambio climático es uno de los mayores desafíos a los que se está enfrentando el mundo entero; y en concreto la UE. Este hecho requiere tomar medidas con el objetivo de estabilizar la temperatura de la superficie del planeta para evitar daños irreversibles. Consecuentemente la UE ha puesto en marcha, a través de la Directiva 2012/27/UE, un paquete integrado de medidas sobre el cambio climático y energía que prevé nuevos y ambiciosos objetivos

para 2020, con el fin de llevar a Europa hacia el camino del futuro sostenible, con una economía que genere pocas emisiones y consuma menos energía, así como aumentar la eficiencia en todas las etapas de la cadena de la energía: generación, transformación, distribución y consumo final.

Con respecto a las cifras de 1990, los compromisos de la UE para lograrlo son:

1. Reducir las emisiones de GHG en un 20% (en el caso de alcanzarse un acuerdo internacional la cifra pasaría a ser de un 30%).
2. Ahorrar el 20% del consumo de energía mediante una mayor eficiencia energética. Además, en cada país el 10% de las necesidades del transporte deberán cubrirse mediante biocombustibles.
3. Promover las energías renovables hasta el 20%.

Estas medidas tienen su origen en la Directiva 2002/91/CE relativa a la eficiencia energética de los edificios. Esta Directiva fue refundida tras un largo proceso legislativo, desarrollado entre 2008 y 2010 que dio como resultado la Directiva 2010/31/UE. Las principales aportaciones son:

- Establece los métodos de cálculo de los niveles óptimos de rentabilidad de los requisitos mínimos de eficiencia energética de los edificios y de sus elementos.
- Introduce el concepto de Edificios de Consumo Energético Casi Nulo (EECN).
- Amplia el contenido de los Certificados Energéticos, así como su ámbito de aplicación.

La UE cuenta con diversas herramientas para alcanzar estos objetivos. Uno de ellos es el régimen de comercio de derechos de emisión, a través del cual los países de la UE pueden comprar y vender derechos de emisión dentro de los límites fijados para toda la UE. Este sistema hace posible que los Estados miembros reduzcan sus emisiones de manera significativa.

La captura y almacenamiento subterráneo del carbono es un método que la UE se plantea promover a largo plazo. Dicho método consiste en capturar el CO₂ presente en las emisiones industriales y posteriormente transportarlo e inyectarlo en depósitos subterráneos. Aunque es un sistema que actualmente está en experimentación, paliaría notablemente los efectos provocados por la producción

de carbón y gas, así como por otras industrias con importantes emisiones de CO₂ como cementeras, siderúrgicas, petroquímicas, etc.

Cabe destacar también la existencia del SET Plan (Plan para el desarrollo de Tecnologías Estratégicas en el campo de la Energía) que pretende ser el pilar básico de la acción comunitaria entre 2010 y 2020. Concretamente, la UE quiere que la industria coopere en la consecución del objetivo comunitario a través de las Energy Industrial Initiatives (EII's). Se están creando EII's para la energía solar, eólica, nuclear, para la captura y almacenamiento de CO₂, para el desarrollo de redes, la bioenergía y la novedosa smartcity (ciudad inteligente).

En el marco español, cabe mencionar que la participación es considerable aunque asimismo es imprescindible también participar en otro de los pilares del SET Plan, la Alianza Europea para la Investigación Energética (EERA), ya que los grupos de trabajo de esta red van a ser los que decidan el futuro de la estrategia energética en la UE y eso siempre supone una ventaja a la hora de decidir fondos procedentes de Europa.

Por lo tanto, las palabras Ecoeficiencia y renovables serán dos vectores de vital importancia en el desarrollo de estrategias para lograr los objetivos comentados de la Directiva 20/20/20.

5.2.2 SCALE

La iniciativa SCALE surge por la necesidad de integrar toda la información sobre el estado del medio ambiente y la salud humana, tratando de conseguir una mejor evaluación del impacto medioambiental global sobre la salud. La finalidad de esta estrategia es desarrollar un marco de causas y efectos que proporcione toda la información necesaria para implementar políticas que actúen en los focos de tensión medioambiental. Los objetivos clave de esta iniciativa son:

- Disminuir la carga de enfermedades causadas por factores medioambientales en la UE.
- Identificar y prevenir las nuevas amenazas para la salud derivadas de factores medioambientales.
- Facilitar el desarrollo de políticas en materia de salud en la UE.

Esta estrategia pretende dar un enfoque globalizador y que perdure en el tiempo. A continuación se desglosan los pilares de dicha estrategia que a su vez componen su sigla.

- Basada en la Ciencia (Science): utilizando todos los conocimientos de la amplia gama de redes de expertos ambientales y sanitarios de los Estados Miembros y países adheridos, incluyendo las organizaciones internacionales.
- Orientada hacia la infancia (Children): teniendo en cuenta la vulnerabilidad de los niños ante los riesgos medioambientales, y asumiendo que invertir en salud es la clave para garantizar el desarrollo tanto humano como económico.
- Destinada a fomentar la concienciación (Awareness): tratando de sensibilizar a la población europea sobre los problemas en la salud por la degradación medioambiental.
- Utilizando los instrumentos jurídicos (Legal instruments): exigiendo que las acciones puestas en marcha en el ámbito Europeo enfoquen los problemas sanitarios relacionados con el medio ambiente de una forma integrada.
- Llevando a cabo una evaluación (Evaluation) constante y continuada: orientada a comprobar la eficacia de las acciones encaminadas a paliar los problemas sanitarios relacionados con el medio ambiente.

5.2.3 NEHAPs

Esta iniciativa representa una manera integral e intersectorial de planificación e implementación de medidas de salud a nivel nacional. Sin embargo, no son solo planes, sino que en muchos casos se han convertido en procesos nacionales de salud ambiental. Éstos consisten en desarrollar, adoptar, implementar y evaluar políticas medioambientales. En consecuencia, se utilizan diferentes métodos durante las diferentes fases.

La fase de preparación requiere una evaluación participativa de las situaciones de salud ambiental, el establecimiento de prioridades, análisis de costo-beneficio, de participación pública y de consulta interdepartamental. La fase de adopción generalmente está ligada a diferentes técnicas de comunicación, mientras que la fase de ejecución puede incluir estudios de percepción de riesgo, evaluación del impacto de la salud ambiental, información pública, la consulta y la participación, y otras técnicas de gestión de riesgos, además de la adopción de leyes y reglamentos, preparación y gestión de proyectos de investigación y desarrollo. Por último, la fase de evaluación requiere la realización de ejercicios de visualización, análisis de contenido de los documentos, estudios de opinión pública, análisis de fortalezas, oportunidades y limitaciones.

6. Dispositivos y sistemas de los vehículos de carretera

6.1 Coches y motos

6.1.1 Catalizador

También llamado convertidor catalítico, este dispositivo es fundamental para el tratamiento de los gases contaminantes que salen por el tubo de escape. Este elemento tiene como principal objetivo disminuir la emisión de estos mediante la técnica de la catálisis.

Este aparato se instala en el tubo de escape justo después del colector de escape, debido a que en este tramo los gases se encuentran a una temperatura elevada. La energía calorífica aportada por estos gases pasa al catalizador y consecuentemente eleva su temperatura, cuyo valor debe oscilar entre los 400 y los 700 para que trabaje a rendimiento óptimo.

Según su sistema de funcionamiento, éstos pueden ser de tres clases:

Catalizador oxidante

Es el más sencillo y más barato. Dispone de un solo soporte cerámico que permite la oxidación del CO y de los HC. Por lo que respecta al NO_x, el sistema encargado de tratarlo es el EGR. Estos dispositivos se usan principalmente en motores Diésel aunque las prestaciones sobre los gases de escape son difíciles de controlar. A diferencia de los motores de gasolina, en los Diésel las temperaturas máximas de estos gases no son suficientes altas como para fundir el monolito cerámico. Estos están formados por:

- Un monolito cerámico en forma de nido de abeja, encima del cual se deposita la sustancia que contiene metales preciosos.
- Una malla metálica que permite la sujeción del monolito en su coquilla.
- Una envoltura que incluye los conos de entrada y salida que permiten optimizar la repartición del flujo de los gases de escape.

Catalizador de dos vías

También llamado catalizador de tres vías de “bucle abierto”, de “doble efecto” o de “doble cuerpo”, este tipo solo existe en vehículos de fabricación americana. Estos consisten básicamente en un doble catalizador con una toma intermedia de aire. La primera parte actúa sobre los gases ricos de escape (reduciendo el NO_x), mientras que la segunda lo hace sobre los gases empobrecidos (CO y HC)

con ayuda de la toma intermedia de aire. Este catalizador tiene dos modos de funcionamiento:

- Motor frío: La alimentación de éste se hace con una mezcla rica de combustible. En este estado, la válvula envía aire al colector de escape para ayudar a completar la combustión de estos contaminantes. El oxígeno del aire adicional contribuye a que los HC se conviertan en H_2O y CO_2 , evitando así que el catalizador se sobrecargue.
- Motor caliente: En estas condiciones el interruptor de vacío es sensible a la temperatura del refrigerante y bloquea el paso del vacío a la válvula de control de aire. Consecuentemente, se inyecta aire en la toma intermedia del catalizador para reducir los CO y los HC.

Catalizador de tres vías

También llamado de “bucle cerrado”, este tipo de catalizador es el más complejo, sofisticado y caro aunque a su vez es el más usado hoy en día. El desarrollo tecnológico que ha experimentado este catalizador ha desbancado a su homólogo de dos vías, sumado al hecho de que la oxidación de los gases contaminantes en este último era incompleta. Su nombre viene dado por el hecho de que en su interior se reducen simultáneamente el CO, los HC y el NO_x . El grado de eficacia de este dispositivo depende de la mezcla de los gases de admisión y este puede llevar incorporados monolitos cerámicos o metálicos, aunque los primeros son los más usados actualmente.

Exteriormente los tres tipos de catalizadores son iguales, excepto el de dos vías con toma intermedia d aire, que incorpora un tubo para la entrada de aire entre los dos monolitos. La principal diferencia está en el washcoat (recubrimiento rugoso de óxido de aluminio cuya función es ampliar la superficie de contacto entre los gases de escape y el monolito) y en el tipo de materiales preciosos que usan.

Por lo que respecta a las condiciones de servicio, cabe destacar que la temperatura del catalizador es de crucial importancia en la depuración de gases de escape, ya que si dicha temperatura es inferior a los $300^{\circ}C$ el rendimiento es muy bajo, mientras que si ésta supera los $800^{\circ}C$ el envejecimiento térmico aumenta notablemente por sinterización de los metales preciosos lo que ocasiona una reducción considerable de la superficie activa. Por otra parte es de suma importancia que el carburante esté exento de plomo, ya que de lo contrario no se puede asegurar una larga duración de éste, ya que los compuestos de plomo se depositan en los poros de la superficie activa y reducen su cantidad.

Análogamente, residuos procedentes del aceite motor pueden atacar el catalizador hasta niveles de inutilizarlo. Finalmente, hay que añadir que la localización del catalizador de tres vías es indispensable que sea al lado del motor, ya que de otro modo no se reunirían las condiciones térmicas necesarias para tratar los gases contaminantes.

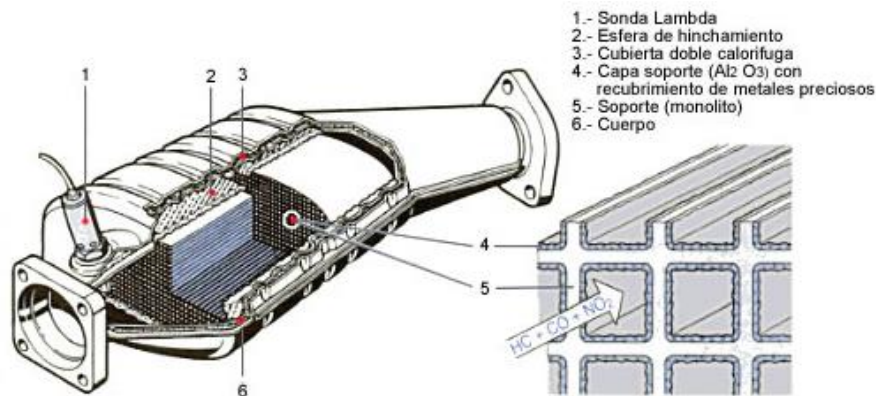


Imagen 20. Esquema interno de un catalizador de tres vías. Fuente [48]

Catalizador acumulador de NO_x

En los motores con inyección directa de gasolina el sistema de escape ha sido necesario adaptar el sistema de escape ya que los catalizadores convencionales de tres vías no son capaces de alcanzar los límites legales de emisiones de NO_x. Por este motivo, se incorpora a estos sistemas un catalizador acumulador de NO_x, cuya función es almacenar dichos gases. Cuando el acumulador está lleno, se pone en marcha un modo de regeneración mediante el cual se consiguen desprender dichos gases y se transforman en nitrógeno.

6.1.2 Sistema EGR

Este sistema tiene como función reenviar una parte de los gases de escape al colector de admisión, logrando un descenso del contenido de oxígeno en el aire de admisión provocando de esta manera una disminución de la temperatura de combustión y así se consigue reducir la cantidad de NO_x.

La ECU es el elemento encargado de dar las órdenes de activar este sistema así como de determinar la cantidad de gases de escape que deben ser enviados al colector de admisión teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- El régimen motor
- El caudal de combustible inyectado
- El caudal de aire aspirado
- La temperatura del motor
- La presión atmosférica

Generalmente, este sistema únicamente está activado a una carga parcial y a temperatura normal del motor, nunca con el motor frío o en aceleraciones.

El principal elemento de este sistema es la válvula EGR, cuya misión es dosificar el caudal de gases de escape reciclados. Ésta puede localizarse en el colector de gases de escape, en el sector de aspiración o en un tubo termoresistente que une el colector de escape con el colector de admisión. Por otro lado, estas válvulas pueden ser neumáticas o eléctricas.

Válvulas EGR neumáticas

Este tipo de válvulas son accionadas por depresión o vacío. Están formadas por una membrana empujada por un muelle que abre o cierra una válvula de paso mediante una varilla hueca en cuyo extremo lleva incorporado un punzón. Esta varilla está unida a la membrana, cuyo movimiento permite la apertura de la válvula cada vez que la depresión actúa sobre dicha membrana y vence la presión del muelle. A todo esto, es necesaria también una válvula eléctrica controlada por la ECU encargada de controlar la depresión que actúa sobre la válvula EGR. En algunos sistemas ambas válvulas están unidas y consecuentemente se simplifica el mecanismo.

Válvulas EGR eléctricas

Esta válvulas, que se caracterizan por no tener que usar una bomba de vacío, constan de una bobina que actúa al recibir señales eléctricas de la ECU abriendo o cerrando un paso por el que recirculan los gases de escape. Esta válvula lleva integrado un pequeño sensor de posición que indica en todo momento la posición que tiene el elemento que abre o cierra el paso de la recirculación de los gases. Por otra parte, a diferencia de su homóloga neumática, puede abrirse con cualquier carga motor y con cualquier depresión del motor; además de que existe una comunicación directa con el aire del entorno a través del filtro de aire para compensar la presión en dicha válvula.

Cabe añadir que algunos sistemas EGR incorporan un sistema de refrigeración formado por un radiador, cuya función es reducir la temperatura de la combustión con el fin de refrigerar los gases de escape que se realimentan y permitir que una mayor cantidad de gases sean recirculados.

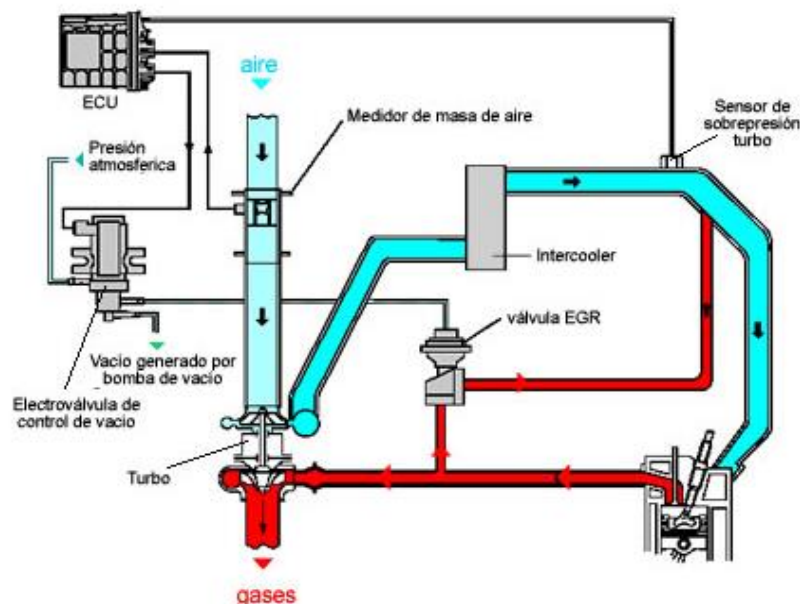


Imagen 21. Esquema de un sistema EGR. Fuente [48]

6.1.3 Sensor de urea

Este dispositivo fabricado por Continental contiene piezoelementos, un termómetro resistente a coeficientes de temperatura negativos y un circuito integrado específico con el fin de medir el nivel, la calidad y la temperatura de la solución acuosa de urea presente en el depósito de combustible, asegurando de esta manera la reducción de las emisiones de NO_x . Además regula la cantidad de la solución de urea que ha de ser inyectada con el fin de maximizar la eficiencia de la reacción química y la efectividad del SCR. Consecuentemente, cuando los NO_x reaccionan con la urea en el escape del motor, el gas se convierte en nitrógeno y H_2O antes de liberarse a la atmósfera, aumentando la eficiencia del sistema de post-tratamiento de los gases de escape.



Imagen 22. Sensor de urea. Fuente [77]

6.1.4 AdBlue

El AdBlue es un líquido incoloro altamente purificado que contiene agua desmineralizada y un 32,5% de urea. Este producto se usa en motores diésel y también se conoce por otros nombres tales como DEF, ARLA 32 o AUS 32. Aunque originalmente se desarrolló para automóviles, su uso se está extendiendo poco a poco en vehículos pesados. El principal componente activo del AdBlue es el amoníaco, el cual se forma químicamente por la acción de la urea. Este líquido, que se utiliza en motores diésel, se inyecta en el catalizador del sistema SCR donde desencadena una reacción química con el amoníaco. Ésta, convierte los NO_x en nitrógeno y vapor de agua, los cuales son inofensivos para el medio ambiente. Algunas de las propiedades del AdBlue son:

Aspecto: Líquido incoloro

Punto de congelación: -11°C

Punto de evaporación: 40°C

PH: Aproximadamente de 9,5

Caducidad: 12-18 meses

Otras propiedades: Se puede cristalizar, es corrosivo y no es inflamable ni explosivo.

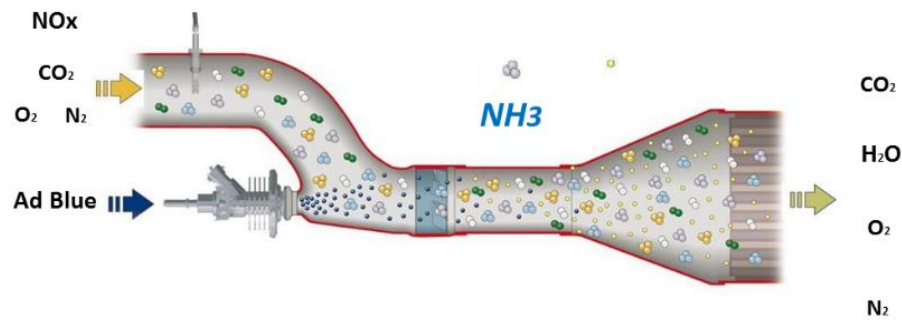


Imagen 23. Efecto del AdBlue. Fuente [78]

6.1.5 Sensor de oxígeno

También llamado sonda Lambda, este dispositivo situado a la salida del colector de escape del motor analiza los gases de escape y envía información periódicamente a la ECU del motor, con el objetivo de poder controlar los porcentajes de aire y combustible que entran a la cámara de combustión y así adecuar la mezcla en función de las circunstancias de funcionamiento del vehículo.

La combustión precisa que tanto el aire como el combustible se encuentren mezclados en una proporción determinada. En un motor de gasolina la relación ideal es de 14,7:1; es decir, se requieren 14,7g de aire por cada gramo de carburante para realizar una combustión perfecta. A efectos prácticos, esta proporción varía en función de las condiciones de funcionamiento del motor, pudiendo oscilar este valor entre 12 y 16. En función del tipo de mezcla que obtenemos:

Mezcla pobre

Es el resultado de un exceso de aire en la mezcla. En estas condiciones en el motor se incrementa la temperatura de combustión, derivando así en una mayor facilidad para emitir NO_x . A todo esto se le suma el hecho de que si la mezcla resulta demasiado pobre, el combustible no llega a inflamarse y el motor se para.

Mezcla rica

Se obtiene en condiciones de exceso de combustible en la mezcla. En este caso, este exceso de combustible no se puede combinar completamente con el aire y en consecuencia una parte del combustible es expulsado por el escape en forma de hollín y CO.

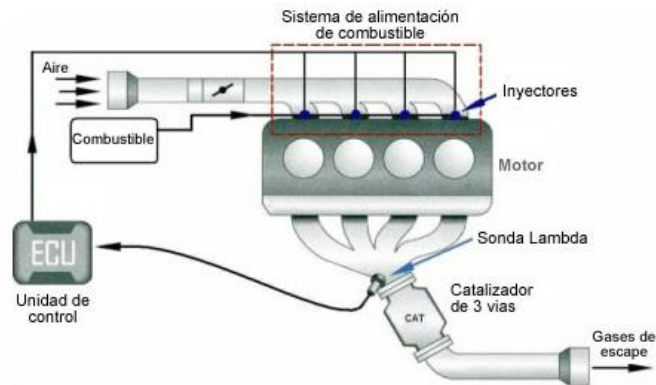


Imagen 24. Localización del sensor de oxígeno en el motor. Fuente [48]

6.1.6 Canister

También denominado filtro de carbón activo o EVAP (sistema de control evaporativo de gases), este dispositivo se encarga de retener provisionalmente los hidrocarburos evaporados en el depósito de gasolina y de la cuba del carburador para después quemarlos en el motor. La gasolina, al ser muy volátil es inflamable y se evapora además una cantidad considerable de hidrocarburos a temperatura ambiente con facilidad, estimándose que alrededor de un 20% de la contaminación potencial de un vehículo proviene de la evaporación de dichos hidrocarburos. Este dispositivo contiene una válvula de control que establece o interrumpe la aspiración de los hidrocarburos por el motor, y mediante un filtro se impide la entrada de polvo que podría circular por el canister en el momento en que se establece la conexión del colector de admisión con este.

Esquema de localización de los elementos en el vehículo

- 1.- Tapón del depósito
- 2.- Canister o filtro de carbon activo
- 3.- Válvula antivuelco
- 4.- Tubo de unión del depósito de gasolina al canister
- 5.- Tubo de unión del aireador de la cuba del carburador al canister.
- 6.- Tubo de respiración de los hidrocarburos por el motor
- 7.- Tubo de mando neumático de la válvula de control del canister
- 8.- Válvula de control de la respiración de los hidrocarburos
- 9.- Válvula de 2 vías.

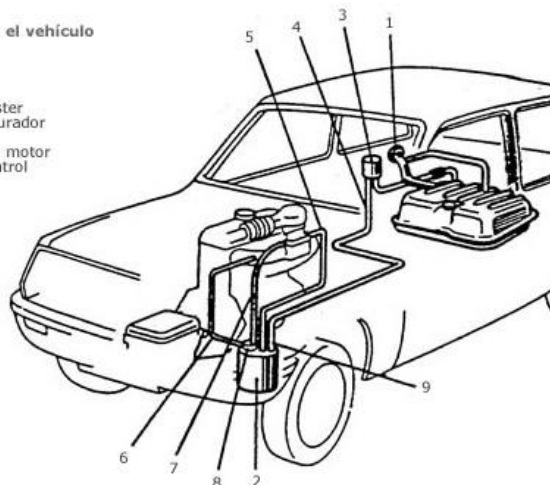


Imagen 25. Componentes que intervienen en la retención de los hidrocarburos. Fuente [48]

6.1.7 O₃ Protégelo

Este dispositivo desarrollado por un ingeniero español, Isidro Moreno, consiste en un cilindro lleno de óxido férrico que se instala en el motor y es capaz de reducir significativamente las emisiones de gases contaminantes producidos en los procesos de combustión y al mismo tiempo optimizar el uso del combustible; lo que se traduce en una mayor aportación de potencia al motor.

Este ingeniero ha explicado que los mientras los vehículos actuales solo queman entre el 70 y el 80% del total de combustible, gracias a su revolucionaria tecnología serían capaces de explotar hasta el 95%. Este dispositivo funciona con motores de 2.000 c.c, por lo que resultan útiles tanto para vehículos como para motocicletas y su precio es de 145€. Para aquellos vehículos con una cilindrada mayor, el precio aumenta ligeramente.

6.1.8 Start-Stop

Este sistema inventado por Bosch funciona gracias a un motor de arranque mejorado para alargar su vida útil, un alternador específico que ofrece un 77% más de eficiencia⁷ y que produce unas mayores cargas de la batería a bajas velocidades del vehículo, una centralita electrónica que controla el sistema, una batería de mayor capacidad que la batería convencional y una serie de sensores colocados en la batería (para saber la carga de la misma), en el cigüeñal (para saber la velocidad del vehículo) y en los pedales (que informa sobre lo que quiere hacer el conductor).

Cuando el conductor pone el punto muerto y levanta el pie del embrague los sensores mandan información a la centralita que se prepara para efectuar la parada. Sin embrago, para que esto suceda el vehículo debe estar parado o circulando a una velocidad inferior a los 3km/h, estar en punto muerto, el sensor de la batería ha de determinar si ésta tiene suficiente energía para volver a arrancar y la dirección no puede estar girada, ya que en caso contrario se considera que se está efectuando una maniobra de aparcamiento.

6.1.9 Filtro de partículas

Se trata de una trampa para las partículas sólidas en suspensión, las cuales se quedan retenidas en una especie de panal de cerámica poroso de conductos muy delgados. Estas partículas se van acumulando y saturando estos conductos hasta taponar finalmente el filtro. Para evitar que el filtro se sature y derive en una obturación del escape, cada cierto tiempo se tiene que regenerar. Esto

significa que las partículas se deben quemar a altas temperaturas, oxidándose éstas y limpiándose así el filtro.

La regeneración se hace de manera automática y está gestionada por un sistema electrónico. El primer elemento que interviene en este proceso es el sensor que detecta que el filtro de partículas está saturado, que consiste en un medidor de diferencia de presión entre la entrada y la salida del filtro. Si la presión sube a cierto nivel, se entiende que se ha saturado y es necesaria una regeneración. Ésta consiste en que el motor no debe parar en un intervalo de entre 15 y 20 minutos y tiene que trabajar en un régimen por encima de las 2000-2500 rpm y la temperatura de los gases de escape debe subir. Por este motivo se inyecta un sobre exceso de gasóleo a la cámara para que se incendie en el escape.

En función de si se utiliza un aditivo para llevar a cabo la regeneración encontramos dos tipos de filtros de partículas: con aditivo y sin aditivo.

Los filtros de partículas sin aditivo suelen colocarse bastante cerca del motor, concretamente justo después del colector de escape y pegados al turbo, para que estén expuestos a la mayor temperatura de los gases expulsados por el motor. Generalmente suelen oscilar entre 650 y 750 grados.

Los filtros de partículas con aditivo de cerina suelen colocarse algo más alejados, ya que el aditivo que utilizan hace que se rebaje la temperatura necesaria para que se quemen las partículas acumuladas (entre 550 y 650 grados). El único inconveniente de este tipo de filtro es que tiene una vida limitada (del orden de 120.000 a 150.000km).

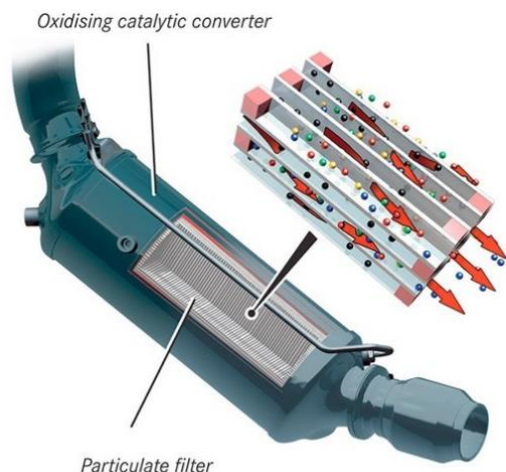


Imagen 26. Filtro de partículas. Fuente [47]

6.1.10 Embrague por cable

Este nuevo sistema fabricado por la empresa alemana ZF sustituye a la convencional transferencia de fuerza por pedal por una unidad de accionamiento por motor eléctrico e introduce por primera vez la posibilidad de un ahorro de combustible en las transmisiones manuales. La posibilidad de regular el embrague solo con el mando electrónico y el actuador, significa que ya no hace falta una conexión a los pedales, incrementado de esta manera el confort y la seguridad.

Algunas de las ventajas que incorpora son por ejemplo el no tener que pisar el pedal en el momento de arranque, una protección contra el ahogo o una función de marcha superlenta que facilita las maniobras y la conducción en atascos.

El jefe del departamento de ingeniería de dicha empresa, Jörg Buhl, afirmó que mediante este sistema las emisiones de CO₂ bajarían hasta un 10%. Esta cifra es el resultado únicamente de la desconexión automática y el paro del motor en situaciones de conducción apropiadas que hasta el momento solo eran típicas de transmisiones automáticas.

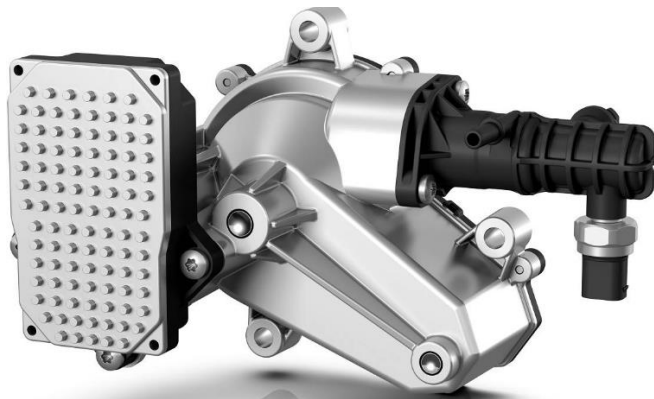


Imagen 27. Embrague por cable. Fuente [45]

6.1.11 Sistema de inyección adicional de aire en el escape

Este dispositivo tiene la función de introducir una cierta cantidad de aire en el colector de escape, con el fin de completar la combustión de los gases expulsados del cilindro antes de liberarlos a la atmósfera.

Principalmente, el oxígeno aportado se combina con los hidrocarburos y el CO, completándose la combustión a alta temperatura y consecuentemente reduciendo la cantidad liberada de dichos gases. Los motores que trabajan con

mezcla rica son los que requieren de este sistema, ya que no se quema todo el combustible (concretamente cuando el motor está en la fase de arranque en frío).

Los primeros motores que usaron este sistema empleaban dos elementos: la bomba de aire y la válvula de pulsair. Sin embargo, desde la implantación de la gestión electrónica en el sector del automóvil, la bomba de aire pasó a ser accionada eléctricamente y las válvulas pasaron a usar un sistema de accionamiento mixto (eléctrico y neumático).

Este sistema sólo se activa en dos estados operativos (arranque en frío y al ralentí tras el arranque en caliente) y por un tiempo limitado, tal y como se especifica en la tabla de abajo.

Estado operativo	Tº líquido refrigerante (ºC)	Tiempo activado (s)
Arranque en frío	5-33ºC	100s
Arranque en caliente	Máximo 96ºC	10s

Tabla 8. Condiciones operativas del sistema de inyección por aire. Fuente [48]

6.1.12 Sistema de ventilación positiva del cárter (PCV)

Cuando el motor está en funcionamiento, debido a las altas presiones y temperaturas a que está sometido el aceite del engrase, se produce la oxidación y descomposición de éste, produciéndose vapores que quedan atrapados en el interior del cárter. En estas condiciones el aceite pierde rápidamente todas sus propiedades lubricantes, lo que resulta en que se deba cambiar continuamente, además de que se genera una pérdida de rendimiento del motor debido a la sobrepresión interna en el interior del cárter. Para evitar este hecho, los motores llevan incorporados un sistema de ventilación del cárter que tiene por objeto arrastrar fuera del mismo los vapores de agua y gasolina a medida que penetran en él así como los originados en la propia descomposición del aceite.

6.1.13 Baterías de plomo-carbono

Los prototipos híbridos llevados a cabo por Ford y Hyundai/Kia utilizan un sistema de baterías de plomo-carbono de 48V con componentes eléctricos de fácil conexión; el primero llamado T-Hybrid (basado en el Kia Optima) y el segundo llamado ADEPT (basado en el Ford Focus).

Con estas baterías se consigue reducir un 16% el tamaño del motor sin afectar al rendimiento de éste, ya que con elementos como el Valeo Supercharger y el CPT Speed Start ISG se puede dotar a un motor de 1,4L las prestaciones de un 1,8L y mantener las mismas cantidades de emisiones que el primero. Cabe destacar que con el elemento ADEPT se estima que se pueden reducir las emisiones hasta niveles cercanos a los 75g CO₂/km; valores muy inferiores a los 95g CO₂/km que establece la UE para 2021. Finalmente, hay que añadir que el coste de implantar este sistema de baterías es bajo comparado con los beneficios que reporta su uso.

6.2 Autobuses y autocares

6.2.1 Purificador de aire eCo3

Este dispositivo inventado por la empresa sevillana Hispacold genera iones negativos y ozono en cantidades tales que mejoran la calidad del aire presente dentro del vehículo. Además, disminuye el nivel de bacterias y virus, así como malos olores, alergógenos y hongos; a la vez que mantiene la proporción natural de oxígeno a bordo.

Este purificador puede instalarse en los sistemas de climatización desarrollados por esta empresa y consigue reducir tanto los contagios de enfermedades como los problemas respiratorios. La principal ventaja que ofrece es que su funcionamiento es continuo, a diferencia de otros sistemas de desinfección químicos utilizados por equipos de aire acondicionado.



Imagen 28. Purificador de aire eCo3. Fuente [49]

6.2.2 Transmisiones automáticas

Estas transmisiones ideadas por la compañía norteamericana Allison Transmission están diseñadas para utilizarse en un amplio rango de operaciones y a un régimen de motor bajo en marchas largas. Incorporan relaciones optimizadas entre marchas, además de tener equipado el paquete FuelSenseMax. Esta relación entre marchas trabaja para lograr un mayor ahorro de combustible en los ciclos de trabajo largos, con arranque y paradas continuos y a baja velocidad media. Son ideales para transportes públicos y autobuses urbanos.



Imagen 29. Transmisión Allison. Fuente [79]

6.3 Camiones

6.3.1 SDR

Este dispositivo aerodinámico creado por la empresa valenciana System Drag Reduction actúa sobre el campo de turbulencias generado por el vehículo en la parte trasera, insuflando el aire que circula por el techo. Este sistema se instala en la parte posterior de la carrocería, consiguiendo reducir hasta un 50% el área de turbulencias. Consecuentemente se reduce el efecto de succión sobre el vehículo derivado de la aparición de estas turbulencias, empleándose así menos combustible para avanzar la misma distancia. A nivel numérico esto se traduce en un ahorro de carburante alrededor de 1,5L cada 100km. Por lo que respecta a la seguridad vial este elemento es de vital importancia. Principalmente disminuye de modo significativo los movimientos laterales del remolque del camión en días de viento o cuando se dan maniobras bruscas y mejora el campo visual del conductor en días de lluvia.

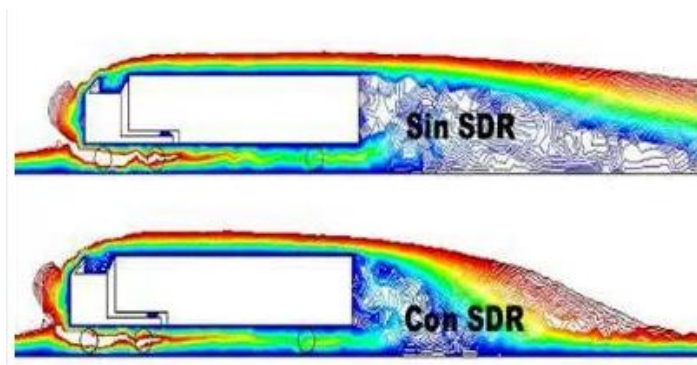


Imagen 30. Diferencia en el campo de turbulencias sin y con SDR. Fuente [53]

6.4 Trenes

6.4.1 ENSPIRIT

El proyecto ENSPIRIT, financiado por la Comisión Europea dentro del Programa Marco 7, es una colaboración de 4 PYMES y 3 organizaciones de investigación. Su finalidad es desarrollar un catalizador de oxidación avanzada que permita la eliminación de los óxidos de nitrógeno a temperatura ambiente. Asimismo también se pretende crear una técnica de irradiación por microondas capaz de desarrollar un dispositivo que permita la desorción optimizada de contaminantes a partir de catalizadores de carbono con un mínimo daño a la estructura porosa interna.

Por otro lado, el dispositivo catalítico se integrará en un sistema de dispositivos combinados que tienen como objetivo eliminar el calor, la humedad, las PM, los SO_x y los NO_x . Con la implantación de estos aparatos se pretende proporcionar una manera rentable y de bajo consumo de satisfacer las nuevas normas de emisiones de la EPA para los trenes diésel.

7. Modos de propulsión alternativos en vehículos

7.1 Vehículo eléctrico

Un vehículo eléctrico es aquel que se impulsa con la fuerza que genera un motor eléctrico. Estos motores transforman la energía eléctrica en energía mecánica y en función del tipo de corriente que usan para su alimentación se clasifican en:

- Motores de corriente continua
 - De excitación independiente
 - De excitación serie
 - De excitación (shunt) o derivación
 - De excitación compuesta
- Motores de corriente alterna
 - Motores síncronos
 - Motores asíncronos
 - ❖ Monofásicos
 - ❖ Trifásicos

En referencia al tipo de motor usado en los vehículos eléctricos, éste depende básicamente de la aplicación. Para vehículos de alto rendimiento eléctrico se usa mayoritariamente motores de inducción mientras que para vehículos híbridos domina el uso de motores de corriente continua.

7.1.1 Coche eléctrico

Componentes

Un coche eléctrico está formado principalmente de los siguientes elementos:

- Cargador: este elemento se encarga de absorber la electricidad de forma alterna directamente desde la red y la transforma en corriente continua para cargar así la batería principal.
- Baterías: su función es la de almacenar energía cedida por el cargador. Esta energía es la que alimenta todo el coche eléctrico. En función del tipo de

motor que lleve incorporado el coche, éstas se conectan directamente al motor (motor de corriente continua) o éstas se conectan a un inversor (motores de corriente alterna).

- Convertidor: su función es la de transformar la alta tensión que aporta la batería principal en baja tensión para así poder alimentar las baterías auxiliares de 12V, cuya misión es alimentar a los componentes auxiliares del coche.
- Inversor: solo son necesarios en vehículos que funcionen con motor de corriente alterna. Este elemento tiene la función de transformar la corriente continua que cede la batería principal en corriente alterna, con el fin de poder alimentar el motor.
- Motor eléctrico: puede ser de corriente continua o alterna. El de corriente continua se alimenta directamente desde la batería principal y el de corriente alterna recibe energía de la batería pero antes de llegar al motor es previamente transformada por el inversor.

Recarga

Existen tres tipos de recarga:

- Recarga convencional: esta recarga dura aproximadamente 8 horas y emplea la misma intensidad y voltaje que la propia vivienda (16A y 220V). Esta recarga es ideal en periodos nocturnos y es más eficaz debido a que la demanda energética es menor en este espacio de tiempo.
- Recarga semi-rápida: su duración es de 4 horas aproximadamente y emplea una intensidad de 32A y un voltaje de 230V. Análogamente a la recarga convencional es ideal para periodos nocturnos.
- Recarga rápida: dura aproximadamente 30min. Este tipo de recarga emplea una mayor intensidad eléctrica y entrega la energía en corriente continua. El único inconveniente es que las exigencias eléctricas son mayores que en la recarga convencional, es por eso que la instalación de estas recargas puede implicar la adecuación de la red eléctrica.

7.1.2 Proyectos VICTORIA y TOSA

El transporte público es responsable del 30% de las emisiones provocadas por el tráfico en los núcleos urbanos^[57]. A raíz de este hecho, Málaga y Ginebra han acogido programas de investigación para conseguir que el autobús eléctrico sea el transporte urbano del futuro, proponiendo así soluciones innovadoras para recargar los vehículos en marcha y aumentar la autonomía.

El proyecto VICTORIA, llevado a cabo en Málaga y empezado en septiembre de 2013 con una dotación presupuestaria de 3,7 millones de euros consistía en la creación de un autobús eléctrico con doble recarga por inducción (sin cables y automática). Esta recarga se realiza en paradas y en ciertos tramos de la línea adaptados para que suministren energía al vehículo cuando esté en marcha y pase por encima de éstos.

Paralelamente, en la capital suiza se realizó otro proyecto similar conocido como TOSA. Éste, consistió en la creación de trolebuses sin catenarias asociadas. Estos vehículos despliegan un brazo de conexión en las paradas y se recargan durante un periodo de 15 segundos. Este sistema evita la necesidad de diseñar una batería de grandes dimensiones para poder cubrir una jornada de servicio completa y sin interrupciones.

7.2 Vehículo híbrido

A raíz de los problemas surgidos en los vehículos eléctricos, como son la escasa energía que se obtienen de las baterías y su limitación en velocidad y autonomía, son los híbridos los que actualmente ofrecen una solución más óptima.

Estos vehículos utilizan un motor eléctrico y un motor de combustión interna. A diferencia de los vehículos puramente eléctricos, hay híbridos que no necesitan conectar una toma de corriente para recargar las baterías, ya que el generador y el sistema de frenos regenerativos son los elementos que se encargan de mantener la carga de las mismas. Al usar el motor térmico para recargar las baterías, se requiere de un menor número de éstas y consecuentemente el peso del vehículo es inferior. El uso combinado de un motor de combustión funcionando siempre a su máxima eficiencia y la recuperación de energía mediante el frenado da lugar a que estos vehículos alcancen mejores rendimientos que los vehículos puramente de combustión. El sistema electrónico es el elemento encargado de determinar en todo momento qué motor usar y en qué momento hacerlo.

Estructura

En función de la configuración en la que han sido fabricados estos se clasifican en:

- Paralelos: tanto la parte eléctrica como la térmica son capaces de girar las ruedas.
- En serie: solo la parte eléctrica da tracción, mientras que el motor térmico se utiliza para generar electricidad.

Por otra parte, se pueden clasificar también según la carga de las baterías:

- Regulares: se recargan por el funcionamiento normal del vehículo.
- Enchufables: se cargan también con toma a la red eléctrica.

Motor

Este está formado por un pequeño motor térmico, cuyo rendimiento es suficiente para la mayoría de ocasiones en la que está funcionando y un sistema eléctrico capaz de realizar dos funciones vitales. Por una parte, ofrece un suplemento extra de potencia necesario en algunas situaciones como podrían ser aceleraciones fuertes o subidas de gran pendiente con mucha carga y a gran velocidad. Además, posibilita el hecho de poder emplear únicamente la propulsión eléctrica en arrancadas tras detenciones prolongadas o aparcamientos. Por otra parte, supone un ahorro de energía ya que la energía eléctrica es obtenida a base de cargar las baterías en frenadas o en descensos con pendiente pronunciada. Otro factor de sumo interés es la de poder usar el motor eléctrico durante un espacio de tiempo y en lugares donde la producción de humos derivada del sistema de propulsión convencional pueda resultar molesto; como por ejemplo en garajes.

7.3 Vehículo de hidrógeno

Existen dos tipos de vehículos de hidrógeno en función del motor que utilizan: los que emplean el hidrógeno a modo de combustible y lo queman en un motor de explosión y los que utilizan el hidrógeno para generar electricidad y así alimentar un motor eléctrico.

En lo que concierne al uso de hidrogeno para generar electricidad, este proceso se lleva cabo dentro de una celda de combustible que actúa como membrana en la que se mezclan el hidrogeno y el oxígeno del aire. Este dispositivo

electroquímico convierte la energía química de una reacción directamente en energía eléctrica sin ninguna combustión, sin agotarse ni precisar de recarga, ya que producen energía eléctrica en forma de electricidad y calor siempre que se disponga de hidrógeno. A efectos prácticos, la vida útil de estas celdas solo viene determinada por la degradación de los materiales y componentes de dicha celda.

Motor de hidrógeno de combustión interna

Estos motores son muy similares a los convencionales. El hidrógeno utilizado es altamente inflamable y se quema limpiamente en concentraciones que oscilan entre el 4 y el 74%, pero no a estándares de cero emisiones. Por una parte, el uso de hidrógeno extiende la vida del motor y reduce su mantenimiento, ya que no se acumula carbón en la cámara de combustión ni en las bujías. Además los gases resultantes son lo suficientemente limpios que no resulta necesario apenas cambiar el aceite del motor y la arrancada en condiciones de baja temperatura no genera ningún inconveniente.

Por otra parte, el principal inconveniente es la baja eficiencia de la combustión del hidrogeno, principalmente debido a la gran cantidad de energía que se necesita para producir y comprimir o licuar el hidrógeno.

El repostaje es idéntico al de los carburantes convencionales, simplemente hay que asegurarse que el acoplamiento sea hermético, para evitar así pérdidas de presión y frío. Su duración total es de aproximadamente 8 minutos.

En cuanto a la seguridad, todos los componentes cumplen con los estándares más estrictos. El depósito de hidrógeno líquido dispone del sistema de gestión del vapor de hidrógeno "boil-off" y además cuenta con dos válvulas que permiten la salida controlada del hidrógeno al entorno, en caso de producirse una presión excesiva en el depósito (por ejemplo en una colisión brusca). Tanto el depósito como todos los demás componentes que están relacionados con la alimentación del hidrogeno al motor son de doble pared. Además, en caso de producirse cualquier irregularidad, el vehículo está equipado con un sistema electrónico encargado de mantener informado al usuario en cualquier momento.

Motor eléctrico con celdas de combustible

La unidad esencial de celda de combustible es el conjunto de electrodos y membrana donde en un inicio el principal problema residía en el agua que se producía en el interior de dicha celda y que interfería con la generación de energía eléctrica bajas temperaturas. A raíz de la labor de investigación llevada

a cabo con los años esto ya se ha solucionado perfectamente. Análogamente al motor de combustión interna que funciona con hidrógeno, este motor con celdas también tiene facilidad por arrancar y funcionar en zonas frías. Gracias al nuevo rendimiento logrado en las celdas de combustible, al perfeccionamiento del sistema de frenado regenerativo y a la reducción de la energía consumida por el sistema auxiliar, actualmente se ha conseguido mejorar la eficiencia en el uso del combustible alrededor de un 25%^[48].

Una manera alternativa de obtener el hidrógeno para luego usarlo como combustible es llevando a cabo el “reformado” de combustible, mediante el cual se consigue extraer el hidrógeno de la gasolina u otro hidrocarburo y enviarlo a la celda de combustible. Este proceso es más barato pero también es más contaminante.

7.4 Autogas

Abreviado como GLP, este combustible fósil compuesto por una mezcla de butano y propano es el carburante alternativo más utilizado en el mundo y se encuentra disponible en enormes cantidades en yacimientos de gas natural aunque a la vez es desconocido por la mayoría de personas. Actualmente solo está disponible para motores de gasolina, ya que los motores diésel presentan complicaciones técnicas que hacen inviable su instalación.

Este carburante se almacena en un depósito adicional al de gasolina, compuesto por cilindros ubicados en el maletero o en el hueco de la rueda de repuesto. Por razones de seguridad se debe tener en cuenta que solo se puede llenar el depósito hasta un máximo del 80% del volumen de éste. La adaptación necesaria para su funcionamiento consiste en adaptar inyectores, conductos de bombeo de combustible, instalación de depósito y un conmutador que alterna un combustible u otro. Una vez adaptado el vehículo a esta tecnología, dicho vehículo pasa a ser un vehículo bifuel cuyos combustibles se pueden alternar durante la marcha pero sin llegar a estar mezclados. Sin embargo, el encendido del motor siempre se realiza con gasolina hasta que el agua del refrigerante alcanza los 40°C.

Por lo que respecta a las ventajas que ofrece esta tecnología, éstas son de carácter económico y medioambiental. En referencia a las primeras, cabe destacar el ahorro económico de entre el 20 y el 40%^[61]. Además este tipo de vehículos incurren en un menor gasto de mantenimiento, ya que raramente se producen averías debido al funcionamiento más suave y enérgico del motor a bajas RPM. Abordando las ventajas medioambientales, éstas se traducen en unas emisiones más inocuas así como muy inferiores, cuya cifra de reducción

puede llegar hasta el 95%^[60] en el caso de los NO_x. Por otro lado, los vehículos dotados de esta tecnología pueden circular siempre en episodios de restricción al tráfico por alarma medioambiental.

A pesar de que esta nueva tecnología se está implantando cada vez más a nivel mundial y concretamente en el ámbito europeo, hay una serie de inconvenientes que siguen limitando la proyección comercial de este vehículo en el mercado internacional; entre las que destacan la pérdida de espacio útil, el aumento de peso y el bajo número de surtidores para el repostaje.

7.5 Gas natural comprimido

Abreviado como GNC, este combustible alternativo de origen fósil está empezando a comercializarse cada vez más en todo el mundo, y especialmente en Europa. Este gas metano es el mismo que se usa en calderas de calefacción pero a más presión, concretamente a 200 bar. Análogamente al GLP, esta tecnología solo funciona con motores de gasolina, aunque a diferencia del primero el GNC se encuentra en estado gaseoso.

El depósito suele encontrarse en el maletero y desde este depósito hasta el regulador de presión discurre un tubo. Este regulador tiene la función de mantener el gas a una presión adecuada para después ser introducido en el motor. Finalmente, este gas es mezclado con aire y de esta manera se alimenta el motor.

Este carburante se puede presentar en dos formas:

- GNC, la más extendida, para turismos y furgonetas.
- GNL (gas natural licuado), menos habitual, para autobuses y camiones. A diferencia del anterior, a muy baja temperatura este gas pasa a estado líquido.

De la misma manera que en los vehículos propulsados con GLP, estos tienen una serie de ventajas interesantes respecto a los vehículos convencionales de gasolina o diésel. En primer lugar, el coste por kilómetro recorrido es mucho menor. El precio actual en España de dicho carburante ronda aproximadamente los 0,762€/kg. Teniendo en cuenta que el consumo medio de los vehículos bifuel que se encuentran en el mercado hoy en día es de 4kg/100km^[62], el coste asociado representa 3,05€/100km. Por otro lado, por lo que respecta al ámbito medioambiental, las emisiones contaminantes derivadas de la quema de este combustible son más inofensivas y de menor número. En referencia a la vida útil de un vehículo dotado de esta tecnología, ésta es mayor; aunque esto sucede

cuando se pasan revisiones periódicas del tanque y de las conducciones del gas (una cada 4 años). Finalmente, en temas de seguridad estos vehículos son algo más seguros que los de gasolina, ya que la temperatura de encendido del GNC es bastante superior (600°C frente a los 315 de la gasolina). Consecuentemente, el riesgo de incendio es menor ya que es más complicado que se prenda el carburante.

En cuanto a inconvenientes, los principales son el sobrepeso derivado de la instalación del depósito para el GNC y las limitaciones en el número de vehículos disponibles en el mercado así como la baja cifra de puntos de carga de carburante.

7.6 Etanol

Comúnmente llamado alcohol etílico, este compuesto químico tiene varias aplicaciones, de entre las cuales destacan la producción de muchas bebidas alcohólicas, productos cosméticos y su uso como combustible alternativo.

Existen dos medios para obtener etanol como combustible alternativo: por medios químicos o por medios naturales (en este caso se denomina bioetanol).

- Bioetanol: Se obtienen de la fermentación de una gran cantidad y diversidad de materias vegetales de alto contenido en hidratos de carbono en sus diferentes formas vegetales como almidón, sacarosa y celulosa. Luego se separa por destilación el etanol del resto del fermento y de esta manera se consigue un etanol apto como carburante.
- Etanol de síntesis química: Se obtiene etanol combustible por síntesis química a través de hidratar el etileno y usar ácido sulfúrico como catalizador del proceso. En esta síntesis se produce una mezcla de etanol y agua que luego se destila para poder convertir el etanol en combustible.

Por lo que respecta a las ventajas que el uso de este compuesto aporta son las que se detallan a continuación.

- Al ser renovable y producido localmente permite disminuir la dependencia del petróleo, lo que mejora la seguridad energética de los países. Esto es aún más importante para los países no productores de petróleo, dado que la mayoría de estos se encuentran en zonas de alta inestabilidad política.
- Produce un nivel de emisiones contaminantes muy inferior, pudiéndose reducir sus emisiones hasta un 92%^[69].

- Es un oxigenante de la gasolina, por lo que mejora su octanaje de manera significativa. Concretamente, cuando se usa mezclado en un 85% etanol y 15% gasolina el octanaje equivalente es de 105 octanos y cuando se usa en estado puro esta cifra aumenta hasta los 113 octanos.
- Actúa como anticongelante en los motores, mejorando el arranque en frío y previniendo el congelamiento.
- Aumenta el valor de los productos agrícolas de los que procede, mejorando de esta manera la calidad de vida de la gente que vive en las zonas de producción.
- No necesita una tecnología muy complicada para su fabricación, tanto para el bioetanol como para la síntesis química.

En referencia a las desventajas que conlleva su uso destacan las siguientes.

- Se consume entre un 25-30%^[70] más rápido que la gasolina.
- En algunos lugares de producción se sigue quemando la caña de azúcar antes de la cosecha, lo que libera grandes cantidades de contaminantes.
- Se genera un gasto importante de energía en su producción.

7.6.1 Proyecto Ecotruck

Clariant, una de las empresas líderes mundiales en especialidades químicas, junto con Scania, uno de los principales fabricantes globales de vehículos pesados y motores industriales y marítimos han desarrollado en conjunto un proyecto inédito como opción más económica y sostenible para el mercado de transporte de cargas, consistente en la creación de tres camiones movidos a etanol.

El etanol combustible ED95 usado por los camiones Scania contiene en su composición el aditivo Master Batch ED95, cuyo uso permite que motores proyectados para consumir diésel empleen etanol hidratado, ajustando las características del combustible a las necesidades del motor para obtener un buen rendimiento del vehículo. Estos camiones realizan la carga de isotanques de 25000 litros de productos químicos, transportándolos hasta la flota de camiones que realizan las entregas a los clientes. Estos tres camiones Scania P 270 trabajan 24 horas por día, divididos en cuatro turnos durante los siete días de la semana. En este proceso, cada uno debe hacer alrededor de 11000 movimientos anuales, es por eso que el director de operaciones de Clariant en

América Latina, Manfred Schwarz, ha depositado muchas esperanzas en una reducción considerable de las emisiones de estos tres vehículos.

8. Futuras tareas

El estudio llevado a cabo en este trabajo de fin de carrera viene acotado por el tiempo que se precisa emplear en realizarlo. Consecuentemente, al tener que cumplir con la restricción de tener una duración de aproximadamente 300 horas, hay temas que no han podido ser tratados o estudiados en mayor profundidad. Es por este motivo que este trabajo es un buen comienzo para trabajos posteriores de fin de carrera o máster, cuyas temáticas comprendan los siguientes puntos:

- Diseño y fabricación de cualquier dispositivo en uso o en etapa de desarrollo tecnológico, tanto los estudiados como los posibles propuestos.
- Estudio de las normativas referentes a emisiones contaminantes a nivel estatal, europeo y mundial en escenarios futuros.
- Estudio de los diferentes sistemas de propulsión alternativos.

9. Presupuesto

Para la realización del cálculo del presupuesto de este estudio es preciso conocer que hoy en día un ingeniero junior cobra de media 12€/h. Asimismo se conoce también el número de horas empleadas en cada tarea. A continuación se detallan los costes de este estudio.

Concepto	Duración (h)	Precio (€/h)	Coste (€)
Contexto histórico	11	12	132
Contaminación atmosférica	93	12	1116
Tipos de transporte y contaminación que generan	34	12	408
Normativa y legislación de emisiones contaminantes	42	12	504
Dispositivos y sistemas de los vehículos de carretera	79	12	948
Modos de propulsión alternativos en vehículos	32	12	384
Futuras tareas	3	12	36
Conclusiones	7	12	84
Estudio medioambiental	5	12	60
Presupuesto	4	12	48
Subtotal			3720
21% IVA			781,2
Total			4501,2

Tabla 9. Costes del estudio

10. Estudio medioambiental

Para la realización de este trabajo se han producido unas emisiones derivadas de la generación de electricidad necesaria para el funcionamiento de los aparatos electrónicos usados para llevar a cabo este trabajo.

Por otro lado, aunque se ha utilizado el coche para desplazarse hasta otros sitios donde se ha realizado el trabajo, no se tendrán en cuenta dichos desplazamientos debido a que eran necesarios para llevar a cabo otros fines específicos.

La duración de este proyecto ha sido de 310 horas. En este espacio temporal se ha usado el tanto el ordenador como lógicamente la pantalla de éste un total de 124 horas (un 40%) mientras que se ha usado el portátil 186 horas (un 60%). Finalmente, el uso de luces representa un total de 217 horas (un 70%). Con esta información, a continuación se desglosan los resultados obtenidos.

Aparato	Tiempo (h)	W	kWh	kgCO ₂ /kWh	kgCO ₂	Coste (€) ¹
Portátil	186	70	13,02	0,267	3,48	1,24
Ordenador	124	200	24,80	0,267	6,62	2,36
Pantalla	124	50	6,20	0,267	1,66	0,59
Luces	217	36	7,81	0,267	2,09	0,74
Total	651	356	51,83		13,85	4,93

Tabla 10. Resultados obtenidos del estudio medioambiental. Fuente propia

Como se puede observar de la tabla anterior, la cifra total de kgCO₂ emitidos en este estudio corresponde a 13,85kg y el coste asociado a dichas emisiones es de 4,93€.

¹ Actualmente el precio de la luz corresponde a 0,095€/kWh

11. Planificación

CÓDIGO	TAREA	DURACIÓN (H)	INICIO	FIN	PRECEDENCIA
A	Contexto histórico	11	6/03/2016	9/03/2016	
B	Contaminación atmosférica	93	10/03/2016	12/04/2016	
C	Tipos de transporte y contaminación que generan	34	13/04/2016	21/04/2016	
D	Normativa y legislación de emisiones contaminantes	42	22/04/2016	3/05/2016	
E	Dispositivos y sistemas de los vehículos de carretera	79	4/05/2016	22/05/2016	
F	Modos de propulsión alternativos en vehículos	32	23/05/2016	30/05/2016	
G	Futuras tareas	3	31/05/2016	31/05/2016	
H	Conclusiones	7	1/06/2016	1/06/2016	A,B,C,D,E,F
I	Estudio medioambiental	5	2/06/2016	2/06/2016	A,B,C,D,E,F,G,H
J	Presupuesto	4	3/06/2016	3/06/2016	A,B,C,D,E,F,G,H,I

Tabla 11. Planificación del trabajo realizado en este estudio. Fuente propia

12. Conclusiones

En este estudio se ha tratado en primer lugar el tema de la contaminación atmosférica. Ésta, depende principalmente de las fuentes de emisión y varía en función de la localización geográfica. Sin embargo, sigue siendo alarmante que más de 4.000.000 muertes anuales sean derivadas de enfermedades atribuibles a dicha contaminación; además de que un 90% de la población europea está expuesta a niveles peligrosos de calidad del aire. Concretamente, la mayor amenaza para la salud son el ozono troposférico y las partículas finas, cuya peligrosidad causa mayores estragos en niños y ancianos. Por otra parte, es preciso hacer inciso en usar herramientas a nuestro alcance tanto tecnológicas como naturales para poder medir continuamente dichos niveles de contaminación, con el fin de estar siempre informados de cuáles son las zonas con mayor riesgo.

Después se ha estudiado la relación entre la contaminación atmosférica y el transporte. Para poder tener una mayor visión global de las emisiones generales en el sector del transporte se ha estudiado los diferentes medios de transporte y se ha comparado las emisiones entre los varios medios de transporte mediante gráficos. A diferencia de lo que se informa a través de los medios de comunicación, el sector del transporte por carretera no es el sector que genera más emisiones. Es por este motivo que es de relevante importancia dar a conocer a la ciudadanía del verdadero problema que acecha nuestra salud así como de la verdadera fuente principal de emisiones y desvincular de una vez por todas el sector automovilístico del punto de mira del foco mediático.

Aunque se han redactado más de 200 textos legislativos para proteger el medio ambiente desde la década de los setenta, el cumplimiento de éstos sigue siendo un reto importante, ya que incluye una gran variedad de tareas que están en manos de colectivos muy diversos. Por esta razón creo que una de las claves para la conservación del medio ambiente en el futuro pasa por hacer más estricto el acato de dichas leyes. Por otro lado, a partir del año 92, con la entrada en vigor de la primera normativa Euro, se pone especial énfasis en la reducción de las emisiones en el sector del transporte por carretera, omitiendo de nuevo los efectos nocivos derivados de otros sectores como el marítimo o aéreo.

Otra de las consecuencias que ha sufrido el sector automovilístico a raíz de ser la víctima principal de la crítica mediática es la prohibición por parte de algunas ciudades de la UE a la entrada de vehículos en escenarios futuros próximos. Una de las herramientas para la regulación de dicha entrada es la implementación de unas etiquetas que clasifican el vehículo según su tipo (ECO, cero emisiones, etc.).

La presencia en el mercado de vehículos cada vez más ecológicos es debido a la progresiva exigencia legislativa en cuanto a emisiones contaminantes se refiere. Los dispositivos y sistemas mediante los cuales es posible cumplir con dicha normativa son fruto de una depurada y constante innovación tecnológica que para los fabricantes de automóviles sigue suponiendo hoy en día un reto a gran escala. Paralelamente, recientemente se está trabajando intensamente en mejorar los sistemas de propulsión alternativos con el fin de introducir en el mercado vehículos más eficientes y con menores emisiones. Apostar por estas alternativas es dar un paso hacia la preservación de un mundo más limpio y con menos sobreexplotación de recursos como son los carburantes comerciales.

13. Bibliografía

Todas las fuentes a continuación presentadas están ordenadas por fecha de consulta.

13.1 Archivos PDF

[10] Ecologistas en Acción (2014). *Informe de calidad del aire*.

[11] OMS (2012). *Burden of disease from Household Air Pollution for 2012*.

[33] EEA (2015). *Evaluating 15 years of transport and environmental policy integration. Term Report 2015: Transport indicators tracking progress towards environmental targets in Europe*.

[39] Comisión de las Comunidades Europeas (2003). *Estrategia europea de medio ambiente y salud*. Recuperado desde:

<https://www.micof.es/bd/archivos/archivo2169.pdf>

[41] Juan Francisco Martínez. *Sistemas de Gestión Medioambiental*. Recuperado desde:

<http://www.uv.es/dmoreno/ISO14000.pdf>

[55] Comisión Europea (2015). *Medio ambiente*. Recuperado desde:

<http://assets.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448173104.pdf>

[80] EEA (2013). *Air quality in Europe-2013 report*

[82] Fundación Cetmo (2015). *Problemática ambiental del transporte por carretera*.

[83] Ajuntament de Terrassa (2015). *Pla de millora de la qualitat de l'aire de Terrassa (2015-2020)*.

13.2 Páginas web

[1] Fundación Vida Sostenible (2015). *Historia de las tecnologías de reducción de emisiones contaminantes en vehículos*. Recuperado desde:

<http://www.vidasostenible.org/informes/historia-de-las-tecnologias-de-reduccion-de-emisiones-contaminantes-en-vehiculos/>

[2] Motorpasion. Javier Costas (2014). *El ocaso de los diésel: origen y popularización*. Recuperado desde:

<http://www.motorpasion.com/compactos/el-ocaso-del-diesel-origen-y-popularizacion>

[3] G. Jr. Miller Tyler (1992). *Ecología y Medio Ambiente*. Grupo Editorial Iberoamericana. Recuperado desde:

<http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/SmogFotoq.htm>

[4] OMS (2016). *Contaminación del aire de interiores y salud*. Recuperado desde:

<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs292/es/>

[5] EcologiaHoy (2011). *Contaminación atmosférica*. Recuperado desde:

<http://www.ecologiahoy.com/contaminacion-atmosferica>

[6] Contaminación del aire (2009). *La capa de ozono*. Recuperado desde:

<http://contaminaciondelaire1991.blogspot.com.es/>

[7] EEA (2016). *Contaminación atmosférica*. Recuperado desde:

<http://www.eea.europa.eu/es/themes/air/intro>

[8] Esmateria. Manuel Ansede (2012). *La contaminación en Europa pulveriza los niveles de la OMS*. Recuperado desde:

<http://esmateria.com/2012/09/24/la-contaminacion-en-europa-pulveriza-los-niveles-de-la-oms/>

[9] El País. E.G. Sevillano (2015). *La contaminación cuesta a Europa 1,4 billones en muertes y enfermedades*. Recuperado desde:

http://internacional.elpais.com/internacional/2015/04/28/actualidad/1430238193_981146.html

[12] Ecodes (2013). *Las causas de la contaminación atmosférica y los contaminantes atmosféricos más importantes*. Recuperado desde:

<http://goo.gl/psF8KV>

[13] Pce-instruments. *Medidor de partículas CEL-712/K1+*. Recuperado desde:

<https://goo.gl/2OpNIW>

[14] Pce-instruments. *Medidor de gases GasPro*. Recuperado desde:

<https://goo.gl/4gUXvW>

[15] CALIOPE. *Sistema de pronóstico de la calidad del aire*. Recuperado desde:

<http://www.bsc.es/caliope/es>

[16] AQI(2016). *Real-Time Air Quality Index*. Recuperado desde:

<https://waqi.info/>

[17] Xataka. Manu Arenas (2015). *Si quieres conocer el estado del aire que respiras, te decimos cómo puedes hacerlo*. Recuperado desde:

<http://goo.gl/Q8yWTI>

[18] Wikispaces (2011). *Causas y consecuencias de la contaminación*.

Recuperado desde:

<https://contaminacion321.wikispaces.com/causas+y+consecuencias+de+la+contaminaci%C3%B3n>

[19] Wordpress. Jesus Montero Saiz (2011). *Indicadores de la calidad del aire*.

Recuperado desde:

<https://jesusmsaiz.wordpress.com/2011/06/01/indicadores-de-la-calidad-del-aire/>

[20] Authorstream. Luisiana Palacios (2012). *Indicadores biológicos de la contaminación del aire y del suelo*. Recuperado desde:

<http://www.authorstream.com/Presentation/luisiana-856401-indicadores-de-contaminacion-aire-y-suelo/>

[21] UNAD. *Indicadores biológicos de calidad del aire*. Recuperado desde:

http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358024/contLinea/leccin_29_indicadores_biolgicos_de_calidad_del_aire.html

[22] National Geographic. David Woodfall (2015). *Lluvia ácida*. Recuperado desde:

<http://nationalgeographic.es/medio-ambiente/calentamiento-global/acid-rain-overview>

[23] Cuidemos el planeta (2012). *Qué es el smog fotoquímico?* Recuperado desde:

<http://cuidemos-el-planeta.blogspot.com.es/2010/11/que-es-el-smog-fotoquimico.html>

[24] Climántica (2015). *Smog fotoquímico*. Recuperado desde:

<http://unidades.climantica.org/es/unidades/02/consecuencias-dos-combustibles-fosiles/a-choiva-acida-e-o-smog-fotoquimico/2>

[25] Universidad de las Palmas de Gran Canaria. *¿Qué es la calima?*.

Recuperado desde:

http://www.calimacanaria.org/doc_html/la_calima/suspension.php

[26] National Geographic. *¿Se está formando el primer agujero de la capa de ozono en el Polo Norte?* Recuperado desde:

<http://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/agujero-ozono-norte>

[27] OMS. *Los efectos sobre la salud. ¿Qué consecuencias sanitarias acarrea la contaminación atmosférica urbana?* Recuperado desde:

http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/health_impacts/es/

[28] Ecodes. *Impactos sobre la salud de la contaminación atmosférica.*

Recuperado desde:

<http://www.ecodes.org/salud-calidad-aire/201302176117/Impactos-sobre-la-salud-de-la-contaminacion-atmosferica>

[29] Gobierno de Aragón. *El ozono y la salud.* Recuperado desde:

http://www.aragonaire.es/ozone.php?n_action=health

[30] Junta de Andalucía (2015). *Efectos de los COVs sobre la salud y el medio ambiente.* Recuperado desde:

<http://goo.gl/fft8Vc>

[31] Isaac Buzo Sánchez. *Los transportes.* Recuperado desde:

<http://ficus.pntic.mec.es/ibus0001/servicios/transportes.html>

[32] Biblioteca Virtual de salud y Desastres. *Tipos de transportes y características.* Recuperado desde:

<http://helid.digicollection.org/es/d/Js2912s/13.1.html>

[34] Theaa (2015). *Euro emissions standards.* Recuperado desde:

https://www.theaa.com/motoring_advice/fuels-and-environment/euro-emissions-standards.html

[35] CEOE (2010). *Directiva 2010/75/UE Directiva de Emisiones Industriales.*

Recuperado desde:

http://www.cepco.es/noticia.asp?id_rep=3960

[36] RES (2011). *La apuesta 20/20/20 para 2020.* Recuperado desde:

<http://www.ecointeligencia.com/2011/03/la-apuesta-202020-para-2020/>

[37] Marvel Desarrollos (2014). *Europa: Objetivo 20-20-20*. Recuperado desde:

<http://www.marveldesarrollos.com/europa-objetivo-20-20-20/>

[38] Observatorio de Salud y Cambio Climático. *Estrategia Europea de Iniciativa "SCALE"*. Recuperado desde:

http://www.oscc.gob.es/es/general/salud_cambio_climatico/iniciativa_scale_es.htm

[40] OMS (2016). *National Environmental Health Action Plans (NEHAPs)*. Recuperado desde:

<http://www.who.int/heli/impacts/nehaps/en/>

[42] European Union (2014). *Medio ambiente*. Recuperado desde:

http://europa.eu/pol/env/index_es.htm

[43] Autonoción. Luis Reyes (2015). *¿Qué es exactamente eso del sistema AdBlue, la urea y el aditivo anticontaminación?*. Recuperado desde:

<http://www.autonocion.com/adblue-urea-aditivo-anticontaminacion/>

[44] BP (2016). *AdBlue*. Recuperado desde:

http://www.bp.com/es_es/spain/productos-y-servicios/vehiculo/adblue.html

[45] Taller GP (2015). *El embrague con conexiones mecánicas ya tiene también sus días contados*. Recuperado desde:

<http://tallergp.blogspot.com.es/2015/09/el-embrague-con-conexiones-mecanicas-ya.html>

[46] Autobild. Susana Viñuela (2011). *Sistema Start-Stop, prueba real de ahorro de combustible*. Recuperado desde:

<http://www.autobild.es/practicos/sistema-start-stop-prueba-ahorro-combustible-166409>

[47] Motorpasion. Ibáñez (2014). *El ocaso de los diésel: el filtro de partículas*. Recuperado desde:

<http://www.motorpasion.com/compactos/el-ocaso-del-diesel-el-filtro-de-particulas>

[48] Aficionados a la Mecánica (2012). *Cursos de mecánica*. Recuperado desde:

<http://www.aficionadosalamecanica.com/cursos-de-mecanica-2/comment-page-1/#comments>

[49] Hispacold. *Purificador de aire eCo3*. Recuperado desde:

<http://www.hispacold.es/es/productos/autobuses-y-autocares/componentes/6/purificador-de-aire-eco3>

[50] Autobuses & autocares.com (2009). *Hispacold presenta el purificador de aire eCo3*. Recuperado desde:

<http://www.autobuses-autocares.com/es/notices/2009/11/hispacold-presenta-el-purificador-de-aire-eco3-46944.php#.V0zlbvmLTIV>

[51] Europa Press (2010). *Hispacold desarrolla un purificador que limpia, desinfecta y oxigena el aire de los autobuses urbanos*. Recuperado desde:

<http://www.20minutos.es/noticia/739185/0/>

[52] Nexobus (2010). *El purificador de aire eCo3 de Hispacold demuestra su eficacia en sus primeros meses de funcionamiento*. Recuperado desde:

<http://goo.gl/HR8vxl>

[53] Fundación ICIL (2010). *Dispositivo aerodinámico de reducción de combustible y emisiones de CO₂*. Recuperado desde:

<https://apoyologistico.wordpress.com/2010/12/03/dispositivo-aerodinamico-de-reduccion-de-combustible-y-emisiones-de-co2/>

[54] ENSPIRIT (2016). *Enspirit*. Recuperado desde:

<http://www.enspirit.eu/about>

[56] Foro coches eléctricos. Luis González (2014). *Motores eléctricos de inducción vs motores de corriente continua*. Recuperado desde:

<http://forococheselectricos.com/2014/03/motores-electricos-de-induccion-vs-motores-de-corriente-continua.html>

[57] El País. Marcos Baeza (2016). *Sube al autobús del futuro*. Recuperado desde:

<https://drive.google.com/drive/folders/0Bwlc0igW15rfX1V2LXF0SkYwU1U>

[58] Coches hidrógeno. *Coches hidrógeno*. Recuperado desde:

<http://cocheshidrogeno.es/>

[59] Xataka. Ibáñez (2014). *El coche de hidrógeno no es solo humo: estos son sus retos*. Recuperado desde:

<http://www.xataka.com/automovil/el-coche-de-hidrogeno-no-es-solo-humo-estos-son-sus-retos>

[60] Auto Taller Bosch. *Gas Licuado del Petróleo (GLP) o Autogás*. Recuperado desde:

<http://autogasglp.cat/es/hibridos-gas-glp/que-es-el-gas-glp-es.html>

[61] Repsol. *Ventajas del AutoGas*. Recuperado desde:

https://www.repsol.com/es_es/productos-servicios/gasolinas-fueloleos-gasoleos-y-coque/Particulares/Automocion/autogas/ventajas-autogas/default.aspx

[62] Nergiza (2016). *Coches a GNC: Todo lo que tienes que saber*. Recuperado desde:

<http://nergiza.com/coches-a-gnc-todo-lo-que-tienes-que-saber/>

[65] Xataka. Ibáñez (2014). *Cómo funciona un coche con gas natural y por qué lo vamos a oír cada vez más*. Recuperado desde:

<http://www.xataka.com/automovil/como-funciona-un-coche-con-gas-natural-y-por-que-lo-vamos-a-oir-cada-vez-mas>

[66] Roberto Salomón. *Etanol, combustible alternativo*. Recuperado desde:

<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia29/HTML/articulo07.htm>

[67] ebm. *El etanol, como combustible alternativo*. Recuperado desde:

<http://www.enbuenasmanos.com/el-etanol>

[68] Abengoa (2015). *Desmontando el mito: el uso del etanol en tu coche*. Recuperado desde:

<http://www.laenergiadelcambio.com/desmontando-el-mito-el-uso-del-etanol-en-tu-coche>

[69] Tecnología del Plástico (2016). *Clariant y Scania desarrollan un proyecto pionero de sostenibilidad*. Recuperado desde:

<https://goo.gl/GGaqTP>

[70] Gobierno de el Salvador, Consejo Nacional de Energía (2015). *¿Cuáles son las ventajas y las desventajas de usar etanol en lugar de gasolina?* Recuperado desde:

<http://goo.gl/tS5z0i>

13.3 Imágenes

[71] Contaminación en Santiago (2012). *¿Qué es el smog?* Recuperado desde:

<https://goo.gl/QMB3QK>

[72]] AQI (2016). *Real-Time Air Quality Index*. Recuperado desde:

<http://aqicn.org/map/world/es/#@g/37.7554/23.4776/2z>

[73]] Green Facts. Visitado el 23/03/2016. *Air Quality in Europe*. Recuperado desde:

<http://www.greenfacts.org/en/air-quality-europe/l-2/index.htm>

[74]] Estación de calidad de aire. Visitado el 25/03/2016. Recuperado desde:

<https://goo.gl/e9Rizc>

[75] AQI (2016). *Real-Time Air Quality Index*. Recuperado desde:

<http://aqicn.org/city/spain/catalunya/barcelona-eixample/>

[76] Manuel M. Almeida (2009). *Tormenta roja sobre Canarias*. Recuperado desde:

<http://mangasverdes.es/2009/09/24/tormenta-roja-canarias-2002/>

[77] Continental Corporation. Visitado el 10/05/2016. *Sensor de urea*. Recuperado desde:

<http://goo.gl/8nKcrn>

[78] Autocasión. Rubén Fidalgo (2015). *Qué es el Adblue, cómo funciona y para qué sirve*. Recuperado desde:

<https://goo.gl/a4LM1E>

[79] Propel Technology(2015). *B300 with retarded 1 lower res*. Recuperado desde:

<http://news.cision.com/propel-technology-ltd/i/b300-with-retarder-1-lower-res,c1675160>

[84] Junta de Andalucía, Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio (2015). *Contaminación atmosférica*. Recuperado desde:

<http://goo.gl/7PfXDx>

13.4 Tablas

[81] Ingeniero ambiental (2005). *Propiedades físicas y químicas del aire*.

Recuperado desde:

<http://www.ingenieroambiental.com/?pagina=695>